

ред. В. А. Полякова, А. В. Рымаревой // Микробные биокатализаторы для перерабатывающих отраслей АПК. – Москва, ВНИИПБТ, 2006. – С. 141–148.

7. Жеребцов, Н. А. Амилолитические ферменты в пищевой промышленности [Текст] / Н. А. Жеребцов. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 160 с.
8. Бушин, М. А. Изменения углеводного состава и вязкости зернового замеса в процессе водно-тепловой обработки [Текст] / М. А. Бушин, С. В. Востриков, А. Н. Яковлев // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2005. – № 4. – С. 22–23.
9. Римарева, Л. В. Мультиэнзимные системы в производстве спирта [Текст] / Л. В. Римарева, М. Б. Оверченко, Н. И. Игнатова, А. Т. Кадиева // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2004. – № 3. – С. 22–24.
10. Технологічний регламент виробництва спиртових бражок при низькотемпературному розварюванні крохмалевмісної сировини з використанням концентрованих ферментних препаратів ТР-00032744-812–2002 [Текст]. – К.: Міністерство аграрної політики України, 2002.

Досліджено реакцію взаємодії соняшникової олії з гідроксиетилетилендіаміном при мольних відношеннях реагентів від 1:1 до 1:3 у температурах 393 К – 433 К за змінами концентрації аміну з часом, на основі чого розраховані константи швидкості, енергію та ентропію активації. З використанням кінетичної моделі реакції першого порядку, оцінених термодинамічних параметрів розраховано зміни концентрації аміну з часом, оцінено адекватність моделі

Ключові слова: соняшникова олія, амідкування, гідроксиетилетилендіамін, склад, кінетика, адекватність

Исследована реакция взаимодействия подсолнечного масла с гидроксизтилэтилендиамином при мольных отношениях реагентов от 1:1 до 1:3 и температурах 393 К – 433 К по изменению концентрации амина во времени, на основе чего рассчитаны константы скорости, энергия и энтропия активации. С использованием кинетической модели реакции первого порядка, оцененных термодинамических параметров рассчитаны изменения концентрации амина во времени, оценена адекватность модели

Ключевые слова: подсолнечное масло, амидирование, гидроксизтилэтилендиамин, состав, кинетика, модель, адекватность

УДК 664.3

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.47732

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОКСИЭТИЛ- ЭТИЛЕНДИАМИНА С ПОДСОЛНЕЧНЫМ МАСЛОМ

А. П. Мельник

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: vkdgas@yandex.ru

О. П. Чумак

Кандидат технических наук, доктор философии
Кафедра технологии жиров и продуктов брожения

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

E-mail: orchumak@mail.ru

С. Г. Малик

Кандидат технических наук
Отдел физико-химических исследований и
переработки природного газа, конденсата и нефти*

E-mail: maliksg@mail.ru

А. Е. Хусанов

Кандидат технических наук
Южно-Казахстанский
государственный университет им. М. Ауезова
пр. Тауке хана, 5, г. Шымкент, Республика Казахстан, 160012

E-mail: husanov@inbox.ru

*УкрНИИГаз

ул. Красношкільна наб., 20, г. Харків, Україна, 61010

1. Введение

Современные производства многих органических продуктов основаны на научных исследованиях, которые касаются переработки нефти и природного газа. Вместе с тем, согласно прогнозам международного энергетического агентства, к 2020 г. мировая потреб-

ность на первичные энергоносители может увеличиться на 50 %, где нефть остается главным видом топлива с потребностью до 18,3 млн. м³ в сутки. Это составляет 40 % по отношению ко всем используемым энергоносителям. Потребность в природном газе возрастает на 2,7 % в год и составит 26 % от мирового потребления энергоносителей. Таким образом, с одной стороны,

наблюдается тенденция к повышению использования нефти и газа в качестве энергоносителей, а с другой – их ресурсы истощаются, что ведет в будущем к уменьшению и исчезновению базы для получения органических веществ различного назначения. Такие изменения создают актуальную фундаментальную мировую проблему поиска замены ископаемого сырья на другое сырье. Такой перспективной сырьевой базой может стать возобновляемая масло-жировая база. В связи с изложенным, конкретная задача в рамках фундаментальной проблемы касается разработки научно-практических основ получения поверхностно-активных веществ, в частности амидированием масел аминами. При этом могут быть получены аминокамиды, которые являются предшественниками алкилимидазолинов.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Известно получение алкилимидазолинов реакциями карбоновых кислот [1], метиловых эстеров [2] жирных кислот, триацилглицеринов [3] с аминами [4] с промежуточным получением аминокамидов, которые на второй стадии завершаются циклизацией полученных продуктов. В частности отмечено [4], что при взаимодействии жирной кислоты с диэтилентриамином при мольном отношении кислота:амин 1:1 реакция не протекает, не образуются промежуточные аминокамиды и, соответственно, образование алкилимидазолинов маловероятно. С увеличением мольного отношения реагентов до 1:2 в среде растворителей преимущественно образуются 1,2-диамиды за счет большей реакционной способности вторичной аминогруппы, а без растворителей большая вероятность образования 1,3-диамидов за счет большей реакционной способности первичных аминогрупп. При этом отмечается, что без растворителя реакция протекает с образованием алкилимидазолинов при температуре 513 К в течение 5 часов, а в присутствии растворителя – в течение 0,5 часа при меньших температурах. При гидролизе полученных алкилимидазолинов образуются 1,2-диамиды. Взаимодействием жирных кислот с диэтилентриамином при поддержании температуры на первой стадии 423 К с последующей циклизацией на второй в условиях вакуума получены [5] алкилимидазолины с выходом 92 %. Полученные продукты очищают перекристаллизацией в смеси ацетон-толуол. Реакцией жирных кислот талового масла с диэтилентриамином при мольном отношении кислота:амин 2:1 при температуре 423 К в течение 6 час получают [6] 1,2-диамиды, а в течение 14 часов – алкилимидазолины, что может свидетельствовать в данном случае о большей реакционной способности вторичной аминогруппы по сравнению с первичной [7]. Однако это вывод не совпадает с данными [4]. Также известно [6] получение алкилимидазолинов реакцией карбоновых кислот с аминами в присутствии ионообменных смол, $AlCl_3$, PCl_3 , P_2O_5 , HCl , щелочноземельных металлов, как катализаторов [8]. В частности, ионообменных смол берут 20–30 % масс. от исходных реагентов. Отмечается, что при проведении реакции в среде бензола, толуола или ксилола температура реакции циклизации снижается до

353 К – 393 К при времени реакции 6–8 часов и повышается выход алкилимидазолинов. Исходя из изложенного, можно говорить о том, что образование алкилимидазолинов из жирных кислот происходит как минимум в две стадии.

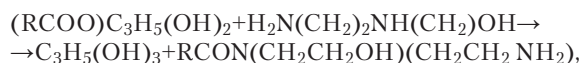
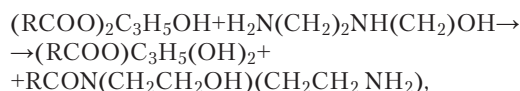
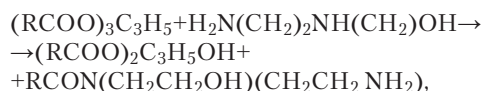
Согласно [6], реакция жирных кислот с гидроксидом этилендиамина (А) также протекает в две стадии: стадию образования амидов и стадию циклизации. Первую стадию проводят при температурах 393 К – 423 К, а вторую – при температурах до 473 К в условиях пониженного давления. При этом в интервале температур 413 К – 433 К преимущественно образуются моно- и диамиды, а при температурах близких к 473 К больше образуется алкилимидазолинов.

Взаимодействием лауриновой кислоты с 5 % избытком А при температурах 413 К – 483 К с отгонкой воды под вакуумом получен [9] индивидуальный 1-гидроксиэтил-2-ундецил-2-имидазолин. Полагают, что избыток амина предотвращает образование диамидов и аминокамидов. Для уменьшения в конечном продукте диамидов после стадии циклизации предложено добавлять исходный амин и выдерживать реакционную массу при температуре 493 К в течение 5 часов при давлении ≈ 7 кПа. При этом содержание диамидов снижается до 0,8–0,9 % масс. Реакцией карбоновой кислоты с А при мольном соотношении реагентов 1:1 и 2:1 в среде хлорбензола получен [10] 1-аминоэтил-2-ундецил-2-имидазолин с чистотой 99,6 % масс. Также известно получение алкилимидазолинов взаимодействием метиловых эстеров жирных кислот [2] или триацилглицеринов [7] с аминами. В частности, при взаимодействии триацилглицеринов талового масла с диэтилентриамином [7] получена в течение 6 часов при атмосферном давлении реакционная масса с 28 % масс. содержанием алкилимидазолинов. При исследовании реакции метиловых эстеров жирных кислот кокосового масла с А указывается [10], что при температурах < 363 К получают продукты, которые есть производными реакции по вторичной аминной группе. Повышение температуры способствует образованию больших количеств 1-амидов и алкилимидазолинов. Недостаток этих реакций состоит в необходимости осуществления стадии получения эстеров или жирных кислот.

Известно также получение 2-алкилимидазолинов взаимодействием между амином альдегидом и изоцианидом [11], альдегидом и этилендиаминам в присутствии йода и карбоната калия с последующим окислением продуктов реакции [12].

В [6] отмечается, что первый промышленный синтез алкилимидазолинов основан на протекании реакции между карбоновыми кислотами и этилендиаминам в присутствии HCl при температурах 533 К – 623 К. Согласно [13], в промышленных масштабах алкилимидазолины получают путем взаимодействия жирных кислот с аминами при эквимолярном соотношении реагентов, температурах 473 К – 543 К и пониженном давлении. Недостатки промышленных технологий состоят в проведении реакции при повышенных температурах.

Сведения об амидировании подсолнечного масла гидроксидом этилендиаминам с выяснением закономерностей его исчезновения отсутствуют. Взаимодействие А с подсолнечным маслом можно описать, как минимум, следующими реакциями:



где $(\text{RCOO})_3\text{C}_3\text{H}_5$ – триацилглицерины (ТАГ) подсолнечного масла, $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_2\text{NH}(\text{CH}_2)\text{OH}$ – гидроксиэтилэтилендиамин, $(\text{RCOO})_2\text{C}_3\text{H}_5\text{OH}$ – диацилглицерины (ДАГ), $(\text{RCOO})\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_2$ – моноацилглицерины (МАГ), $\text{RCON}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)$ – моноамиды жирных кислот (АА), $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ – глицерин (Гл).

3. Цель и задачи исследования

В настоящее время отсутствуют доступные данные относительно описания кинетики амидирования масел по реагенту. Поэтому, исходя из актуальности, целью работы является исследование реакции взаимодействия гидроксиэтилэтилендиамина с подсолнечным маслом.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- оценить компонентный состав реакционных смесей;
- изучить кинетику взаимодействия гидроксиэтилэтилендиамина с подсолнечным маслом;
- выяснить возможность использования текущей концентрации гидроксиэтилэтилендиамина для контроля реакции амидирования.

4. Используемые материалы, оборудование и методы анализа реакционных смесей

В качестве исходного подсолнечного масла (ПМ) использовано масло со следующими показателями: кислотное число 1,7 мг КОН/г, число омыления 189 мг КОН/г, перекисное число 2 1/20 ммоль/кг, влажность 0,2 % масс., содержание фосфатидов 0,25 % масс.; основной жирнокислотный состав, % масс.: пальмитиновой кислоты 5,8; стеариновой – 5,3; олеиновой – 12,5; линолевой – 72,2.

В качестве гидроксиэтилэтилендиамина использован продукт фирмы *Akzo Nobel* с содержанием основного вещества 95,5 % масс., влаги 0,2 % масс., содержание этилендиамина 100 мг/л.

Жирнокислотный состав масла определен в виде метиловых эфиров жирных кислот, которые получены путем метанолиза в присутствии метилата натрия на хроматографе модели 3700 с использованием пламенно-ионизационного детектора и колонки длиной 1,5 м.

Качественный состав реакционных масс оценен с помощью тонкослойной хроматографии на пластинках *Silufol* в системе хлороформ:ацетон:этанол, взятых в соотношении 91:8:1.

Текущие концентрации амина определены титрованием соляной кислотой в 2-пропанол в присутствии бромфенолового синего как индикатора, а присутствие моноацилглицеринов и глицерина – окислением перйодной кислотой с последующим титрованием тиосульфатом натрия согласно [16].

Для анализов также использован 2-пропанол марки “хч”, 0,1 N раствор соляной кислоты (фиксанал), хлороформ марки “фарм”, периодная кислота марки “хч”, тиосульфат натрия марки “чда”, йодид калия “ч. д. а”.

Реакция амидирования исследована с контролем температуры $\pm 0,5$ К контактном термометром в реакторе идеального смешения, в который загружали исходные реагенты и через определенное время отбирали пробы реакционных масс для анализа.

5. Результаты исследований компонентного состава реакционных масс и кинетики взаимодействия гидроксиэтилэтилендиамина с подсолнечным маслом

Оценка компонентного состава реакционных масс осуществлена с использованием тонкослойной хроматографии по величине коэффициентов сорбции (R_f) продуктов реакции ТАГ подсолнечного масла с А в виде 1 % растворов в хлороформе. Сравнение величин R_f реакционной массы с образцами-свидетелями (рис. 1) указывает на то, что в ее состав входят А, ТАГ, (1,2- и 1,3-диацилглицерины (1,2-ДАГ, 1,3-ДАГ), моноацилглицерины, глицерин, диамиды жирных кислот (ДАД), моноамиды жирных кислот, жирные кислоты (ЖК).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при взаимодействии А с подсолнечным маслом при мольном отношении А : ТАГ 3:1 и температуре 333 К образуется смесь продуктов. При изучении сложных реакций, в связи с трудностью получения текущих величин концентраций ряда компонентов реакционных масс, их кинетику исследуют по изменению концентраций одного из реагентов или конечных продуктов [17].

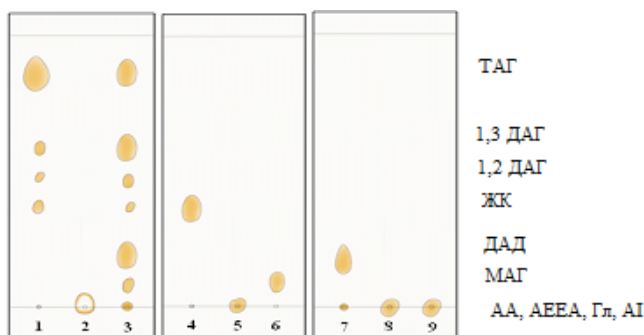


Рис. 1. Хроматограммы реакционной смеси и образцов-свидетелей: 1 – ПМ; 2 – А; 3 – реакционная масса; 4 – олеиновая кислота; 5 – Гл; 6 – МАГ; 7 – ДАД жирных кислот ПМ; 8 – АА пальмитиновой кислоты; 9 – АА жирных кислот ПМ

В данном исследовании изучены изменения концентрации А во времени при различных мольных соотношениях (МО) реагентов и температурах (табл. 1).

Таблица 1

Изменение текущих концентраций А во времени в зависимости от мольных соотношений реагентов и некоторых температур

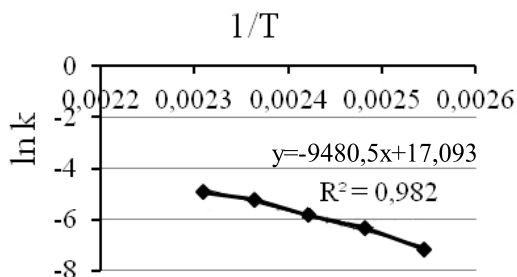
Время, с.	Изменение текущих экспериментальных концентраций А, м.д., при								
	МО реагентов 1:1 и			МО реагентов 1:2 и			МО реагентов 1:3 и		
	температуре, К			температуре, К			температуре, К		
	393	413	433	393	413	433	393	413	433
0	0,5	0,5	0,5	0,666	0,666	0,666	0,75	0,75	0,75
300	–	–	0,186	–	–	0,480 ¹⁾	–	–	0,544
600	0,41	0,246	0,159	0,601	0,468	0,466	0,645	0,616	0,506
1200	0,239	–	0,122	–	–	0,372	–	–	0,458
1800	0,36	0,199	0,099	0,364	0,407	0,302	0,617	0,482	0,448
2400	–	–	0,091	–	–	–	–	–	0,421
3000	–	–	0,084	–	–	0,288	–	–	–
3600	–	0,129	–	0,312	0,314	0,241 ²⁾	0,545	0,429	0,389
5400	0,192	0,120	–	0,260	0,260	–	0,465	0,393	–
7200	0,18	0,082	–	0,216	0,221	–	0,420	0,314	–
9600	0,155	–	–	0,200	0,162	–	0,350	–	–

Примечание: 1 – определено через 240 с; 2 – определено через 4800 с

Используя полученные изменения концентраций (табл. 1), согласно [17] рассчитаны константы скорости k реакции расходования А с учетом исследований [18] как реакции первого порядка, которые возрастают с повышением температуры:

T, К	393	403	413	423	433
$k \cdot 10^{-4} \text{ 1/(мол.д.}\cdot\text{с)}$	7,8	17,9	30	54	72

На основании этих результатов построена зависимость Аррениуса (рис. 2), с использованием которой оценено энергию активации E_a .

Рис. 2. Зависимость константы скорости реакции от времени в координатах $\ln k = f(1/T)$

Рассчитанная таким образом энергия активации составляет 78,8 кДж/г-моль, соответственно энтальпия – 76,5 кДж/г-моль, а энтропия (S_a) согласно теории абсолютных скоростей реакций составляет – 20,2 Дж/г-моль.

6. Сопоставление экспериментальных и расчетных результатов исследования

В связи с тем, что изменения констант скорости реакции от температуры описываются зависимостью с коэффициентом корреляции 0,982 (рис. 2), а скорость расходования амина (dc_A/dt) может быть представлена уравнением

$$dc_A/dt = k_0 \exp(-E_a/RT), \quad (1)$$

где $k_0 = \exp(S_a/R)$, то зная энергию и энтропию активации можно рассчитать текущие концентрации амина при заданной температуре. Используя программу Mathcad, были рассчитаны изменения концентрации амина во времени при разных мольных соотношениях и температурах и сопоставлены с экспериментально определенными величинами (рис. 3, а–к).

Рассчитанные отклонения $\Delta = 100(A_{\text{Э}} - A_{\text{Р}}/A_{\text{Э}})$ между экспериментальными $A_{\text{Э}}$ и расчетными $A_{\text{Р}}$ величинами концентраций приведены в табл. 2. Полученные результаты свидетельствуют о том, что только на начальной стадии, как видно на примере амидирования при мольном отношении реагентов 1:3, расчетные величины концентраций амина совпадают с экспериментальными значениями с отклонениями до 20 %, что приемлемо для технических расчетов. Необходимо отметить и то, что при изученных мольных соотношениях отклонения возрастают как с течением времени, так и повышением температуры. Вместе с тем, при мольном отношении 1:3 на начальных участках наблюдаются наименьшие величины отклонений.

Таблица 2

Расчетные значения концентраций амина и их отклонения от экспериментальных при мольном отношении реагентов 1:3

Время, с	Расчетные концентрации А, м. д. и отклонение, Δ, %, при температуре					
	393 К		413 К		433 К	
	$A_{\text{Р}}$	Δ	$A_{\text{Р}}$	Δ	$A_{\text{Р}}$	Δ
300	–	–	–	–	0,564	3,7
600	0,679	5,3	0,578	6,1	0,520	2,7
1200	–	–	–	–	0,502	9,7
1800	0,599	3,0	0,511	6,0	0,509	11,6
2400	–	–	–	–	0,500	18,8
3600	0,545	0,1	0,501	16,5	0,490	26,1
5400	0,521	12,0	0,500	27,2	–	–
7200	0,510	21,4	0,490	55,2	–	–
9600	0,504	43,4	–	–	–	–

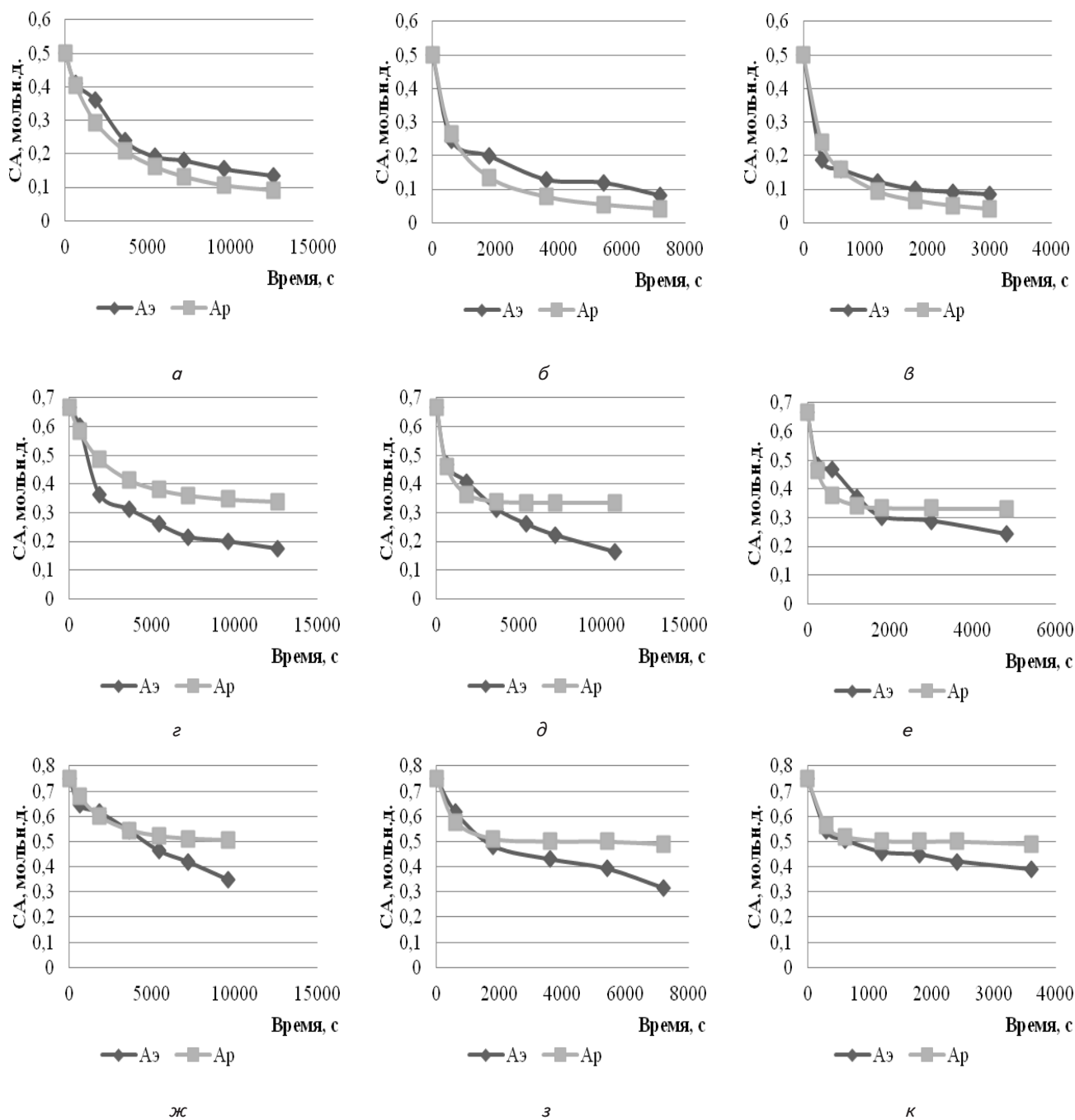


Рис. 3. Сопоставление экспериментальных и расчетных концентраций А (СА) при разных мольных отношениях реагентов и температурах: при МО 1:1 и температурах а – 393 К, б – 413 К, в – 433 К; при МО 1:2 и температурах г – 393 К, д – 413 К, е – 433 К; при МО 1:3 и температурах ж – 393 К, з – 413 К, к – 433 К

Такие тенденции изменений отклонений можно объяснить тем, что амин взаимодействует не только с триацилглицеринами, но и с другими ацилглицеринами, которые образуются на первой начальной стадии, в частности моно- и диацилглицерины (рис. 1). Развитие исследований в этом направлении представляют интерес, так как, очевидно, что только с учетом таких взаимодействий можно создать адекватную кинетическую модель расщепления амина в исследуемом интервале времени.

7. Выводы

1. Установлено, что при взаимодействии гидроксиэтилэтилендиамина с подсолнечным маслом образуются реакционные смеси, которые кроме исходных реагентов содержат аминокислоты, моно-диацилглицерины, глицерин.
2. Исследовано изменение концентраций гидроксиэтилэтилендиамина от времени, температуры в реакции взаимодействия с подсолнечным маслом при

мольных отношениях реагентов от 1:1 до 1:3, рассчитаны константы скорости реакции и оценены энергия и энтропия активации.

3. Используя кинетическую модель реакции первого порядка, проверена ее адекватность экспери-

ментальным результатам. На основании анализа отклонений установлено, что такая модель может быть использована для контроля реакции амидирования масла только на начальной стадии.

Литература

1. Иванский, В. И. Химия гетероциклических соединений [Текст] / Иванский В. И. – М.: Высшая школа, 1978. – 560 с.
2. Tyagi, R., Imidazoline and its derivatives: an overview [Text] / R. Tyagi, V. K. Tyagi, S. K. Pandey // Journal of oleo science. – 2007. – Vol. 56, Issue 5. – P. 211–222. doi: 10.5650/jos.56.211
3. Bajpai, D. Fatty imidazolines: chemistry, synthesis, properties and their industrial application [Text] / D. Bajpai, V. K. Tyagi // Journal of oleo science. – 2006. – Vol. 55, Issue 7. – P. 319–329. doi: 10.5650/jos.55.319
4. Wu, Y. Thermal Reactions of fatty acids with diethylenetriamine [Text] / Y. Wu, P. R. Herrington // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1997. – Vol. 74, Vol. 1. – P. 61–64. doi: 10.1007/s11746-997-0120-2
5. Bistline, R. G. Synthesis and properties of fatty imidazolines and their N-(2-aminoethyl) derivatives [Text] / R. G. Bistline, J. W. Hampson, W. M. Linfield // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1983. – Vol. 60, Issue 4. – P. 823–828. doi: 10.1007/bf02787436
6. Файнгольд, С. И. Химия анионных и амфолитных азотсодержащих поверхностно-активных веществ [Текст] / С. И. Файнгольд, А. Э. Кууск, Х. Э. Кийк. – Таллин: Валгус, 1984. – 290 с.
7. Linfield, W. M. Fatty oxazolines and imidazolines [Text] / W. M. Linfield // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1984. – Vol 61, Issue 2. – P. 437–441. doi: 10.1007/bf02678810
8. Белов, П. С. Новые поверхностно-активные вещества на основе замещенных имидазолинов [Текст] / П. С. Белов, В. И. Фролов, Б. Ею Чистяков. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1975. – 54 с.
9. Patent 4161604 USA. Process for making 1-hydroxyerhyl-2-undecyl-2-imidazoline [Text] / Elster C. H., Gibs G. J. – USA; LONZA AG; applied 1.10.78; published.7.17.79.
10. Gabriel, R. Selective amidation of fatty methyl esters with N-(2-aminoethyl)-ethanolamine under base catalysis [Text] / R. Gabriel // Surfactants and detergents. – 1984. – Vol. 61, Issue 5. – P. 965–971.
11. Bon, R. S. Multicomponent synthesis of 2-imidazolines [Text] / R. S. Bon, C. Hong, M. J. Bouma, R. F. Schmitz, F. J. J. de Kanter, M. Lutz et. al. // Journal of organic chemistry. – 2005. – Vol. 70. – P. 3542–3553. doi: 10.1002/chin.200405056
12. Togo, H. An efficient preparation of 2-imidazolines and imidazoles from aldehydes with molecular iodine and (diacetoxyido)benzene [Text] / H. Togo, M. Ishihara // Synlett. – 2006. – Issue 2. – P. 227–230. doi: 10.1055/s-2005-923604
13. Watts, M. M. Imidazoline hydrolysis in alkaline and acidic media – a review [Text] / M. M. Watts // Surfactants and detergents. – 1990. – Vol. 67, Issue 12. – P. 993–995. doi: 10.1007/bf02541864
14. Серебряков, Б. П. Новые процессы органического синтеза [Текст] / Б. П. Серебряков, Р. М. Масагутов, В. Г. Правдин. – М.: Химия, 1989. – 400 с.
15. Patent 4212983 USA. Manufacture of imidazoline compounds [Text] / Phillips B. M., Lace R. B., Lambie A. J. – USA; Albright & Wilson Limit Co; applied 20.12.78; published 15.07.80.
16. Сиггиа, С. Количественный органический анализ по функциональным группам [Текст] / С. Сиггиа, Дж. Х. – М.: Химия, 1983. – 672 с.
17. Шмид, Р. Неформальная кинетика. В поисках путей химических реакций [Текст] / Р. Шмид, В. Н. Сапунов; пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
18. Мельник, А. П. Получение моно-, диацилглицеринов и этаноламидов амидированием масел [Текст] / А. П. Мельник, Т. В. Матвеева, В. Ю. Папченко. – LLAP, 2013. – 268 с.