

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИФИКАТОРОВ
НА ОСНОВЕ ТРИМЕТИЛОЛПРОПАНА**

А.Ю. Александров, Е.Л. Красных[@], С.В. Леванова, И.Л. Глазко, О.Д. Лукина

Самарский государственный технический университет, г. Самара 443100, Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: kinterm@samgtu.ru

Многоатомные спирты – неополиолы и их производные – в силу особенностей структуры обладают рядом уникальных свойств: высокой термостабильностью, влагоустойчивостью, химической стойкостью и находят широкое применение в производстве синтетических масел, смол, лаков, поверхностно-активных веществ и пластификаторов. Сложные эфиры неополиолов с несколькими сложноэфирными группами обладают прекрасными характеристиками при низких температурах, а также высокой экологичностью, что отвечает современным требованиям. Варьирование при производстве эфиров неополиолов спиртового и кислотного компонентов в различном сочетании позволяет получить широкий спектр продуктов с различными характеристиками и потребительскими свойствами. В настоящее время сложные эфиры неополиолов в России не производятся. Однако технические возможности освоения технологии R-Охо на базе природного газа не вызывают сомнений, что позволит в ближайшее время организовать собственное производство сложных эфиров неополиолов для производства высокотехнологичных материалов. В представленной работе исследована возможность получения пластификаторов на основе сложных эфиров триметилолпропана и кислот C₂–C₅ различного строения. Синтезированы образцы 7 триэфиров триметилолпропана и определены их некоторые физико-химические свойства. Показано, что наиболее перспективным является синтез пластификатора с использованием уксусной кислоты. Проведены кинетические исследования по этерификации уксусной кислоты триметилолпропаном. Использовали дифференциальный метод оценки скорости реакции по начальным скоростям расходования уксусной кислоты. Определены первые порядки реакции по спирту и катализатору в изученных условиях; значение наблюдаемой энергии активации изученной реакции псевдотортого порядка в температурном интервале 80–115 °С составило 57.9±8.1 кДж/моль. Полученные результаты позволяют рекомендовать условия для реализации процесса в промышленности.

Ключевые слова: *триметилолпропан, уксусная кислота, сложные эфиры, кинетические характеристики, порядок реакции, энергия активации.*

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCTION
OF PLASTICIZERS ON THE BASIS OF TRIMETHYLOLPROPANE**

A.Yu. Aleksandrov, E.L. Krasnykh[@], S.V. Levanova, I.L. Glazko, O.D. Lukina

Samara State Technical University, Samara 443100, Russia

[@]Corresponding author e-mail: kinterm@samgtu.ru

Polyhydric alcohols – neopolyols and their derivatives due to the nature of the structure have a row of unique properties – high thermal stability, moisture resistance, chemical resistance and are widely used in the production of synthetic oils, resins, varnishes, surfactants and plasticizers. Esters of neopolyols with several ester groups have excellent characteristics at low temperatures, as well as high environmental friendliness, which meets modern requirements. The variation in the production of esters of neopolyols, alcohol and acid components in various combinations allows to obtain a wide range of products with different characteristics and consumer properties. Currently, neopolyol esters are not produced in Russia. However, the technical capabilities of the development of R-Oxo technology based on natural gas are not in doubt, which will allow in the near future to organize its own production of neopolyol esters for the production of high-tech materials. In the present work, the possibility of obtaining plasticizers based on trimethylolpropane esters and C₂–C₅ acids of various structures was investigated. Samples of 7 trimethylolpropane triesters were synthesized and their certain physicochemical properties were determined. It is shown that the most promising is the synthesis of a plasticizer using acetic acid. Conducted kinetic studies on the esterification of trimethylolpropane with acetic acid. A differential method was used to estimate the reaction rate from the initial consumption rates of acetic acid. The first orders of reaction are determined by alcohol and catalyst under the conditions studied; the value of the observed activation energy of the obtained reaction of the pseudo-second order, in the temperature range of 80–115 °C, was 57.9±8.1 kJ/mol. The results obtained allow us to recommend the conditions for the implementation of the process in the industry.

Keywords: trimethylolpropane, acetic acid, ester, kinetic characteristics, reaction order, activation energy.

Введение

Многоатомные спирты – неополиолы: триметилпропан (метриол), триметилпропан (этриол), пентаэритрит и неопентилгликоль – находят широкое применение в производстве высококачественных синтетических масел, алкидных и эпоксидных смол, лаков, поверхностно-активных веществ и пластификаторов.

Особенности структуры этих спиртов придают их производным ряд уникальных свойств – высокую термостабильность, влагуостойчивость, прочность, химическую стойкость, что обуславливает постоянный интерес во всем мире к этим продуктам. Одно из самых широких применений находит триметилпропан (ТМП): известно более 40 областей его применения, но главное, что он может служить сырьем для получения высокоэффективных, экологически чистых пластификаторов. В России существует проблема сырьевой базы для производства «зеленых» пластификаторов. Создание отечественной технологии производства пластификаторов на основе сложных эфиров триметилпропана является задачей актуальной и практически значимой.

Сложные эфиры неополиолов получают этерификацией одноосновных кислот неоспиртами с различным мольным соотношением. Варьирование кислотного и спиртового компонентов в разнообразных сочетаниях и применение смесей кислот на стадии этерификации позволяют получать широкий спектр продуктов с различными характеристиками и назначением.

Важной способностью эфиров неополиолов является их работоспособность при низких температурах, а также биоразлагаемость, что отвечает требованиям «зеленой химии» [1, 2].

В настоящее время сложные эфиры неополиолов в России практически не производятся. Однако технические возможности освоения современных процессов оксосинтеза (технологии R-Oxo) в России не вызывают сомнения, что позволит организовать собственное производство сложных эфиров неополиолов для производства высокотехнологичных материалов [1].

При этом в литературе практически отсутствует информация по кинетике этерификации ТМП в присутствии кислотных катализаторов, а имеющиеся данные, в основном, связаны с кинетикой переэтерификации биодизеля различных сортов и ТМП [3–6]. Поэтому нами были проведены исследования кинетики этерификации уксусной кислоты ТМП с целью разработки модели скорости, которая может быть использована для проектирования промышленного процесса синтеза пластификаторов на основе сложных эфиров ТМП и уксусной кислоты.

Экспериментальная часть

Синтез эфиров ТМП

Синтез эфиров осуществляли этерификацией одноосновных кислот (уксусной, масляной, изомасляной, валериановой, изовалериановой, пивалевой, капроновой) триметилпропаном по методикам, представленным в наших работах [7, 8].

Катализатор – фосфорная кислота, 1% масс.; азеотропообразующие агенты – бензол при синтезе триэтаната ТМП и толуол при синтезе остальных эфиров ТМП. Время синтеза 1–16 ч, до полного прекращения выделения воды. После завершения

реакции из реакционной массы отгоняли азеотропобразующий агент и избыточную кислоту. Остаток промывали раствором соды и водой до нейтральной среды и фракционировали под вакуумом (10-15 мм рт. ст.)

с выделением фракции эфира. В табл. 1 приведены результаты синтеза и некоторые свойства полученных образцов; выходы от теоретического составляли 94–99.5%; чистота 98–99% (ГЖХ).

Таблица 1. Свойства эфиров ТМП

Эфир ТМП	Т. кип. эфирной фракции (10-15 мм рт. ст.), °C	Кинематическая вязкость, мм ² /с [1]		Температура вспышки в открытом тигле, °C [1]
		100 °C	40 °C	
Триэтаноат	135–140*	–	–	171–176*
Трибуаноат	185–195*	2.2–5.4	8.0–34.4	210–260
Три-(2-метилпропионат)	175–185*	2.2–5.4	8.0–34.4	210–260
Трипентаноат	225–226*	2.2–5.4	8.0–34.4	210–260
Три-(3-метилбуаноат)	200–210*			
Три-(2,2-диметилпропионат)	195–205*			
Тригексаноат	>250	2.2–5.4	8.0–34.4	210–260

* определено в данной работе

Структуру исходных и получаемых продуктов идентифицировали с использованием хромато-масс-спектрометрии (прибор Shimadzu GCMS QR2010 Ultra) [5].

Результаты и их обсуждение

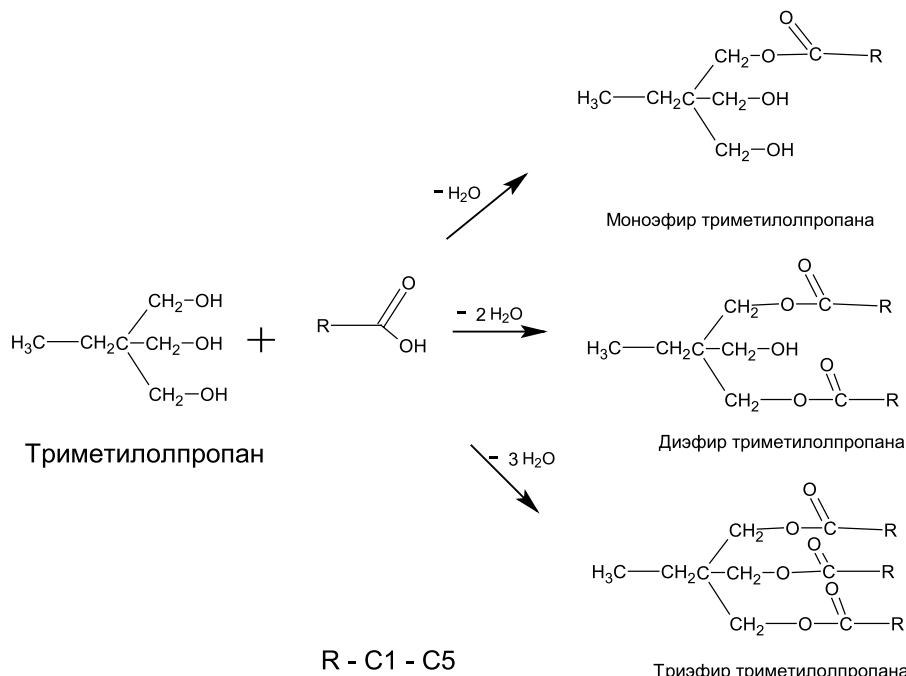
Выбор типа пластификатора определяется, в основном, эксплуатационными требованиями к конкретному изделию, специальными условиями переработки и экономическими показателями. По совокупности

перечисленных факторов мы выбрали объектом исследования триэтаноат ТМП (ЭТМП) в качестве перспективного пластификатора для ПВХ-композиций.

Исследование кинетических характеристик

Поиск оптимальных условий

Этерификация уксусной кислоты ТМП является обратимой реакцией, протекающей последовательно через моно-, диэфиры и заканчивающейся образованием триэтаноата ТМП:



Исследования проводили в температурном интервале 80–115 °C (верхний предел ограничен температурой кипения реакционной смеси) в избытке уксусной кислоты. В качестве катализатора выбран промышленный гомогенный катализатор – фосфорная кислота (85%), обеспечивающий достаточно

высокую скорость при сохранении высокой селективности и качества получающегося продукта (цветность по шкале Хазена) [9, 10].

На рис. 1 показано, как меняется конверсия ТМП в реакции этерификации уксусной кислоты в зависимости от количества катализатора.

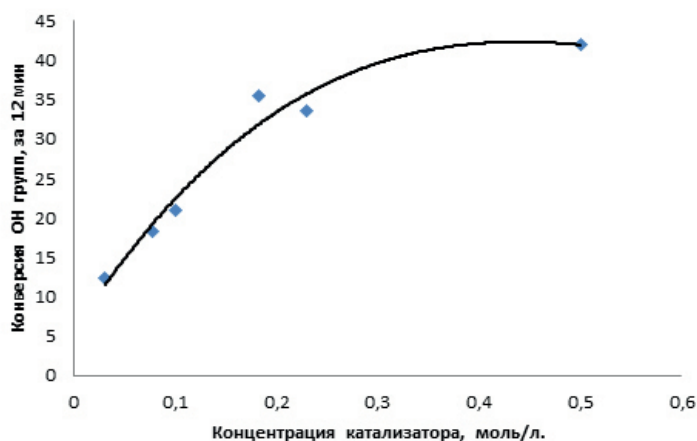


Рис. 1. Зависимость конверсии ОН-групп ТМП от концентрации катализатора (время реакции 12 мин, $T = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$, мольное соотношение уксусная кислота/ТМП = 6/1).

Видно, что при концентрации более 0,3 моль/л заданная конверсия достигается достаточно быстро; дальнейшее увеличение концентрации катализатора не влияет на скорость процесса.

Для преодоления термодинамического ограничения обратимой реакции этерификации применяли из-

быток уксусной кислоты по сравнению со стехиометрией при получении триэфира ТМП (3/1 моль/моль). Была проведена серия экспериментов с использованием избытка уксусной кислоты (3–15/1 моль/моль) и определено время достижения 40%-ной конверсии (рис. 2).

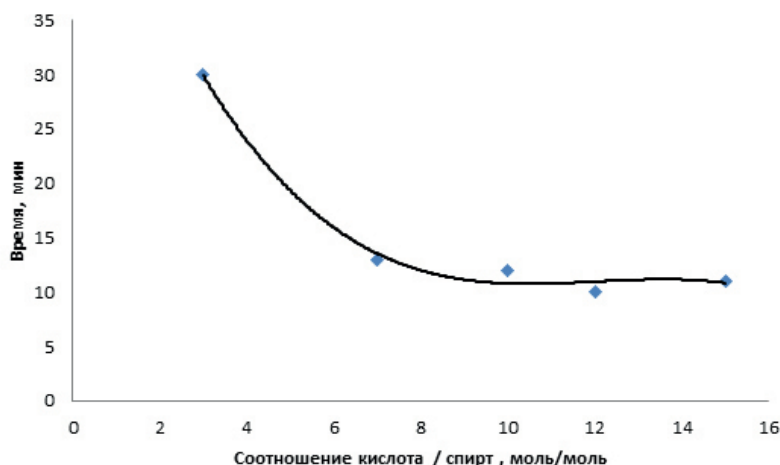


Рис. 2. Зависимость времени достижения 40%-ной конверсии ОН-групп ТМП от мольного соотношения уксусная кислота/ТМП ($T = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$, концентрация катализатора 0,002 моль/л).

Из рис. 2 видно, что при мольном соотношении кислота/ТМП = (6-7)/1 кинетическая область составляет 10–12 мин, в то время как при соотношении 3/1 она в 3–3,5 раза больше; увеличение мольного соотношения более (7-8)/1 не имеет смысла.

Определение кинетических характеристик

На основании предварительных исследований были сформулированы задачи кинетических экспериментов:

- определение порядка реакции по спирту (концентрация катализатора – 0,48 моль/л, мольное отношение уксусная кислота/ТМП = 7,7/1; 10,2/1; 11,7/1; 14,8/1, температура $110\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- определение порядка реакции по катализатору (температура $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, концентрации катализатора

– 0,03; 0,08; 0,10; 0,18; 0,23 моль/л, мольное отношение уксусная кислота/ТМП = 7/1, начальная концентрация ОН-групп – 4,9-5,0 моль/л);

- определение наблюдаемой энергии активации в температурном интервале $80\text{--}115\text{ }^{\circ}\text{C}$ (концентрация катализатора – 0,13 моль/л, мольное отношение уксусная кислота/ТМП = 7,1/1, начальная концентрация ОН-групп – 4,90 моль/л).

Для моделирования реакций, состоящих из нескольких последовательных элементарных стадий с неустойчивыми промежуточными продуктами, используется понятие формально простых реакций, когда последовательность элементарных стадий рассматривается как одна стадия. При этом скорость брутто-реакции описывается степенным уравнением

[11]. В работе был использован дифференциальный метод оценки скорости реакции по начальным скоростям расходования уксусной кислоты (определяли титрометрически), который сопоставляли с накоплением эфиров (хроматографически). Результаты исследований представлены на рис. 3–5.

Данные, приведенные на рис. 3 и 4, показывают, что порядки по ТМП и катализатору в изученных ин-

тервалах концентрации близки к единице: 1.15 ± 0.06 по ТМП; 0.90 ± 0.05 по катализатору; порядок по уксусной кислоте принят псевдонулевым.

При обработке экспериментальных данных в Аррениусовских координатах (рис. 5) оценена величина энергии активации реакции псевдотортого порядка, которая составила 57.9 ± 8.1 кДж/моль, и получено следующее кинетическое уравнение:

$$r = 3.5 \times 10^6 \times \exp\left(\frac{-57900 \pm 8100}{R \times T}\right) \times [C_{\text{снупм}}]^{1.15 \pm 0.06} \times [C_{\text{кам}}]^{0.95 \pm 0.05}$$

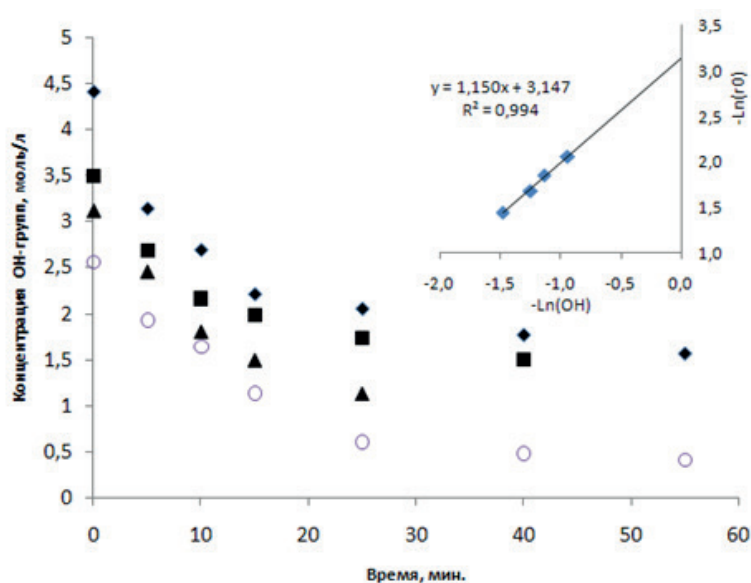


Рис. 3. Изменение концентрации ОН-групп ТМП во времени при разной начальной концентрации ТМП. (На вкладке – зависимость логарифма начальной скорости от логарифма концентрации ОН-групп ТМП).

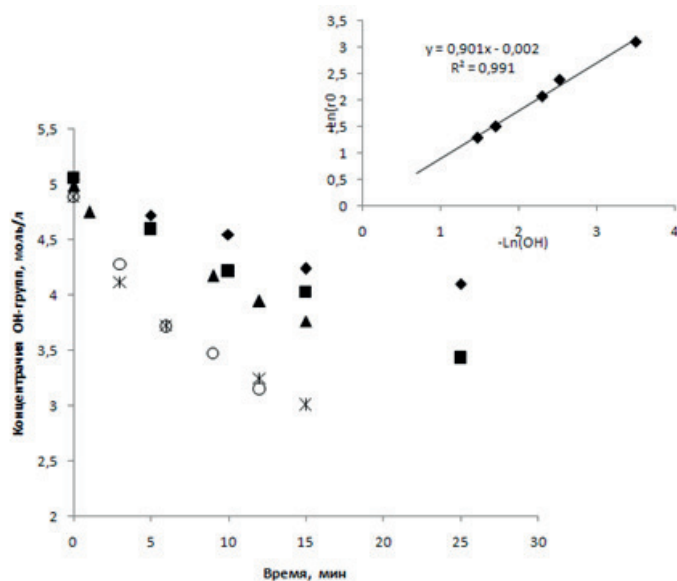


Рис. 4. Изменение концентрации ОН-групп ТМП во времени при разной концентрации катализатора. (На вкладке – зависимость логарифма начальной скорости от логарифма концентрации ОН-групп ТМП).

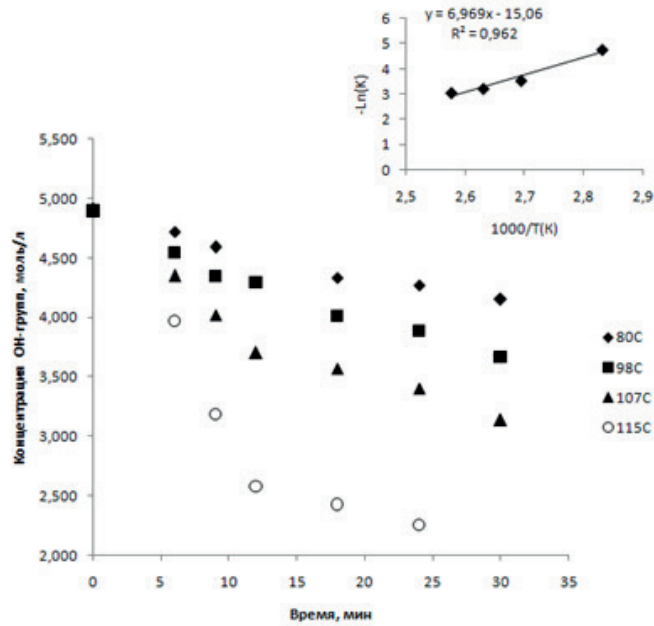


Рис. 5. Изменение концентрации ОН-групп ТМП во времени при разных температурах исследования. (На вкладке – температурная зависимость логарифма константы скорости).

ТМП – полиол, помимо практического значения, является интересной теоретической моделью в рамках решения фундаментальной задачи изучения зависимости строение – свойство. Мы сравнили полученное значение наблюдаемых энергий активации реакций этерификации бутановой и этановой (уксусной) кислот соответственно глицерином [12] и ТМП.

При близких значениях энергии активации константы скорости в аналогичных условиях значительно отличаются, что наглядно выражено в предэкспоненциальных множителях. Вероятнее всего, такое

различие связано с пространственными структурами спиртов (рис. 6).

ТМП имеет структуру тетраэдра, и гидроксильные группы находятся в достаточно свободном положении, что облегчает протекание реакции. В случае глицерина такой свободы у гидроксильных групп нет.

Адекватность кинетической модели оценивали по сходимости экспериментальных данных с результатами расчета по полученному кинетическому уравнению (рис. 7).

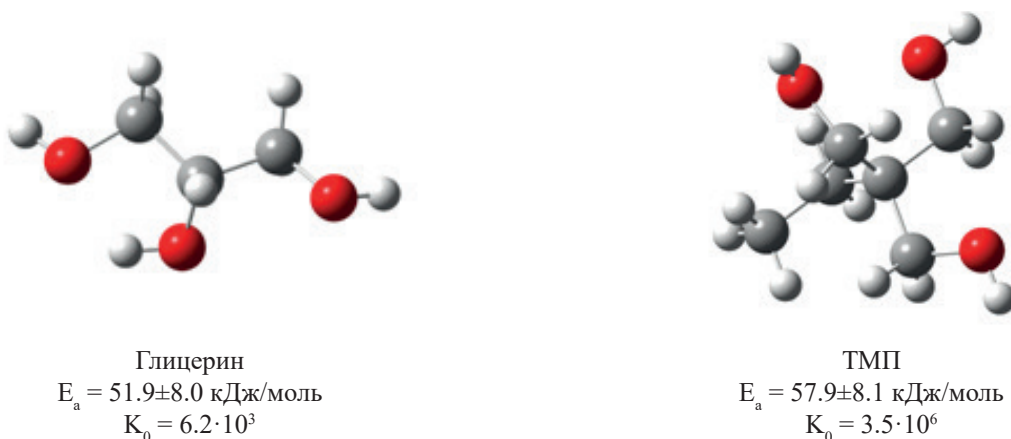


Рис. 6. Пространственные структуры глицерина и ТМП.

В оптимальных условиях (см. в подписи к рис. 7) был наработан образец пластификатора на основе ЭТМП с содержанием основного вещества не менее 98%. Были определены его некоторые

физико-химические и реологические свойства (табл. 2).

Образец прошел тестирование на АО «Таркетт» (г. Отрадный, Самарская обл.).

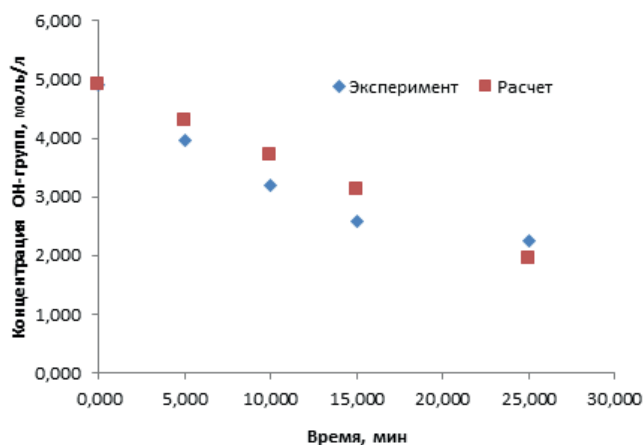


Рис. 7. Сравнение экспериментальных и расчетных данных ($T = 107\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_{\text{кат}} = 0.13\text{ моль/л}$, мольное отношение уксусная кислота/ТМП=7.1/1, начальная концентрация ОН-групп – 4.90 моль/л).

Таблица 2. Физико-химические характеристики триэтаноата ТМП и пластификаторов, используемых в промышленности

Наименование показателя	ДОА (диоктиладипинат) ГОСТ 8728-77	ЭДОС (эферы диоксановых спиртов) Первый сорт ТУ 2493-13004749	Триэтаноат ТМП
Температура вспышки в открытом тигле, $^{\circ}\text{C}$, не ниже	190	150	171±5
Кислотное число, мл КОН/г	0.01	0.1	0.004
Плотность, г/см ³	-	-	1.16
Коэффициент преломления, n_D^{20}	-	-	1.3492
Класс опасности	4	3	4
Содержание основного вещества	-	-	Не менее 98%
Цвет	-	-	Бесцветная прозрачная жидкость
Запах	-	-	Очень слабый, фруктовый

Заключение

Проведенные исследования показали, что реакция этерификации уксусной кислотой триметилолпропана (ТМП) описывается уравнением псевдовторого порядка. Полученное значение наблюдаемой энергии активации (57.9 ± 8.1 кДж/моль) в пределах погрешности соответствует имеющимся литературным данным для аналогичных систем, при этом

предэкспоненциальный множитель на порядок больше, чем в случае получения сложных эфиров глицерина. Показано, что предлагаемый пластификатор на основе эфира ЭТМП обладает пластифицирующими свойствами и может быть использован при производстве ПВХ-изделий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, номер проекта 19-08-00928_a.

Список литературы:

1. Марочкин Д.В., Носков Ю.Г., Крон Т.Е., Карчевская О.Г., Корнеева Г.А. Продукты оксосинтеза в производстве сложноэфирных смазочных масел // Научно-технический вестник ОАО «НК «РОСНЕФТЬ». 2016. № 4. С. 74–81.
2. Беляева Е.Ю., Тархов Л.Г., Чекрышкин Ю.С. Этриол: изучение отдельных стадий конденсации *n*-масляного альдегида с формальдегидом // Хим.

References:

1. Marochkin D.V., Noskov Yu.G., Kron T.E., Karchevskaya O.G., Korneeva G.A. Oxosynthesis products in the production of ester lubricants. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik OAO "NK "ROSNEFT"* (Scientific and Technical Bulletin of OJSC "NK "ROSNEFT"). 2016; 4: 74-81. (in Russ.)
2. Belyaeva E.Yu., Tarkhov L.G., Chekryshkin Yu.S. Etriol: The study of individual stages of

пром. 2005. Т. 82. № 7. С. 329–333.

3. Hamdan H., Chong W.W.F., Ng J.-H., Chong C.T., Zhang H. Nano-tribological characterization of palm oil-based trimethylolpropane ester for application as boundary lubricant // *Tribology Int.* 2018. V. 127. P. 1–9.

4. Hamidah Abd Hamid, Robiah Yunus, Umer Rashid, Thomas S.Y. Choong, Ala'a H. Al-Muhtaseb. Synthesis of palm oil-based trimethylolpropane ester as potential biolubricant: Chemical kinetics modeling // *Chem. Eng. J.* 2012. V. 200-202. P. 532–540.

5. Kamil R.N.M., Yusup S. Modeling of reaction kinetics for transesterification of palm-based methyl esters with trimethylolpropane // *Bioresource Technology.* 2010. V. 101. № 15. P. 5877–5884.

6. Angulo B., Fraile J.M., Gil L., Herrerías C.I. Bio-lubricants production from fish oil residue by transesterification with trimethylolpropane // *J. Cleaner Production.* 2018. V. 202. P. 81–87.

7. Красных Е.Л., Александров А.Ю. Соколова А.А., Леванова С.В. Характеристики удерживания и энтальпии сорбции из газовой фазы сложных эфиров триметилпропана и кислот $C_2 - C_5$ на неподвижной фазе DB-1 // *Журн. физ. химии.* 2017. Т. 91. № 2. С. 372–376.

8. Сушкова С.В., Леванова С.В., Глазко И.Л., Александров А.Ю. Этерификация лимонной кислоты алифатическими спиртами $C_2 - C_5$ // *Тонкие химические технологии.* 2017. Т. 12. № 3. С. 28–32.

9. Krasnykh E.L., Druzhinina Yu.A., Portnova S.V., Smirnova Y.A. Vapor pressure and enthalpy of vaporization of trimethylolpropane and carboxylic acids esters // *Fluid Phase Equilibria.* 2018. V. 462. P. 111–117.

10. Сушкова С.В., Леванова С.В., Глазко И.Л., Павлова К.В. Кинетика этерификации лимонной кислоты в производстве триалкилцитратов // *Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология.* 2017. Т. 60. № 2. С. 74–78.

11. Шмид Р., Сапунов В.Н. Неформальная кинетика: пер. с англ. З.Е. Самойловой / под ред. И.П. Белецкой. М.: Мир, 1985. 264 с.

12. Сафронов С.П., Красных Е.Л., Леванова С.В. Закономерности этерификации глицеринсодержащих отходов производства биодизеля для получения пластифицирующих композиций // *Тонкие химические технологии.* 2017. Т. 12. № 6. С. 77–82.

condensation of *n*-butyric aldehyde with formaldehyde. *Khimicheskaya promyshlennost'* (Chemical Industry). 2005; 82(7): 329-333. (in Russ.)

3. Hamdan H., Chong W.W.F., Ng J.-H., Chong C.T., Zhang H. Nano-tribological characterisation of palm oil-based trimethylolpropane ester for application as boundary lubricant. *Tribology Int.* 2018; 127: 1-9.

4. Hamidah Abd Hamid, Robiah Yunus, Umer Rashid, Thomas S.Y. Choong, Ala'a H. Al-Muhtaseb. Synthesis of palm oil-based trimethylolpropane ester as potential biolubricant: Chemical kinetics modeling. *Chem. Eng. J.* 2012; 200-202: 532-540.

5. Kamil R.N.M., Yusup S. Modeling of reaction kinetics for transesterification of palm-based methyl esters with trimethylolpropane. *Bioresource Technology.* 2010; 101(15): 5877-5884.

6. Angulo B., Fraile J.M., Gil L., Herrerías C.I. Herrerías Bio-lubricants production from fish oil residue by transesterification with trimethylolpropane. *J. Cleaner Production.* 2018; 202: 81-87.

7. Krasnykh E.L., Aleksandrov A.Y., Sokolova A.A., Levanova S.V. Characteristics of retention and enthalpies of sorption from the gas phase of esters of trimethylolpropane and $C_2 - C_5$ acids on DB-1 stationary phase. *Russian Journal of Chemistry A.* 2017; 91(2): 398-402.

8. Sushkova S.V., Levanova S.V., Glazko Y.L., Aleksandrov A.Yu. Esterification of citric acid with aliphatic alcohols $C_2 - C_5$. *Tonkiye khimicheskiye tekhnologii (Fine Chemical Technologies).* 2017; 12(3): 28-32. (in Russ.)

9. Krasnykh E.L., Druzhinina Yu.A., Portnova S.V., Smirnova Y.A. Vapor pressure and enthalpy of vaporization of trimethylolpropane and carboxylic acids esters. *Fluid Phase Equilibria.* 2018; 462: 111-117.

10. Sushkova S.V., Levanova S. V., Glazko Y.L., Pavlova K.V. Kinetics of esterification of citric acid in production of trialkyl citrates. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya (Russian Journal of Chemistry and Chemical Technology).* 2017; 60(2): 74-78. (in Russ.)

11. Shmid R., Sapunov V.N. Non-Formal Kinetics: transl. from Engl. by Z.E. Samoilova / ed. I.P. Beletskaya. Moscow: Mir Publ., 1985. 264 p. (in Russ.)

12. Safronov S.P., Krasnykh E.L., Levanova S.V. Regularities of esterification of glycerine-containing wastes of biodiesel production for obtaining plasticizing compositions. *Tonkiye khimicheskiye tekhnologii (Fine Chemical Technologies).* 2017; 12(6): 77-82. (in Russ.)

Об авторах:

Александров Антон Юрьевич, аспирант кафедры технологии органического и нефтехимического синтеза ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (443100, Россия, г. Самара, ул. Куйбышева, д. 153).

Красных Евгений Леонидович, доктор химических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии органического и нефтехимического синтеза ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (443100, Россия, г. Самара, ул. Куйбышева, д. 153). E-mail: kinterm@samgtu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3886-1450>, ResearcherID: I-6314-2013.

Леванова Светлана Васильевна, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры технологии органического и нефтехимического синтеза ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (443100, Россия, г. Самара, ул. Куйбышева, д. 153). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2539-8986>, ResearcherID: D-6065-2014.

Глазко Илья Леонидович, доцент кафедры технологии органического и нефтехимического синтеза ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (443100, Россия, г. Самара, ул. Куйбышева, д. 153). ResearcherID: E-5107-2014.

Лукина Ольга Дмитриевна, студентка кафедры технологии органического и нефтехимического синтеза ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (443100, Россия, г. Самара, ул. Куйбышева, д. 153).

About the authors:

Anton Yu. Alexandrov, Postgraduate Student of the Chair of Technology of Organic and Petrochemical Synthesis, Samara State Technical University (153, Kuibyshev st., Samara, 443100, Russia).

Evgeny L. Krasnykh, D.Sc. (Chemistry), Associate Professor, Head of the Chair of Technology of Organic and Petrochemical Synthesis, Samara State Technical University (153, Kuibyshev st., Samara, 443100, Russia). E-mail: kinterm@samgtu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3886-1450>, ResearcherID: I-6314-2013.

Svetlana V. Levanova, D.Sc. (Chemistry), Professor, Lecturer of the Chair of Technology of Organic and Petrochemical Synthesis, Samara State Technical University (153, Kuibyshev st., Samara, 443100, Russia). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2539-8986>, ResearcherID: D-6065-2014.

Ilya L. Glazko, Associate Professor of the Chair of Technology of Organic and Petrochemical Synthesis, Samara State Technical University (153, Kuibyshev st., Samara, 443100, Russia). ResearcherID: E-5107-2014.

Olga D. Lukina, Student of the Chair of Technology of Organic and Petrochemical Synthesis, Samara State Technical University (153, Kuibyshev st., Samara, 443100, Russia).

Для цитирования: Александров А.Ю., Красных Е.Л., Леванова С.В., Глазко И.Л., Лукина О.Д. Разработка технологии получения пластификаторов на основе триметилолпропана // Тонкие химические технологии / Fine Chemical Technologies. 2019. Т. 14. № 1. С. 66–74. DOI: 10.32362/2410-6593-2019-14-1-66-74

For citation: Aleksandrov A.Yu., Krasnykh E.L., Levanova S.V., Glazko I.L., Lukina O.D. development of technology for production of plasticizers on the basis of trimethylolpropane. *Tonkie khimicheskie tekhnologii / Fine Chemical Technologies*. 2019; 14(1): 66-74. (in Russ.). DOI: 10.32362/2410-6593-2019-14-1-66-74