

УДК 664.286

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭТАНОЛА С УКСУСНОЙ КИСЛОТОЙ

Николай Викторович Бучилин

кандидат технических наук, доцент

isk115599@rambler.ru

Лариса Ивановна Никонорова

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

lenaniknrva@rambler.ru

Наталья Викторовна Картечина

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

kartechnatali@mail.ru

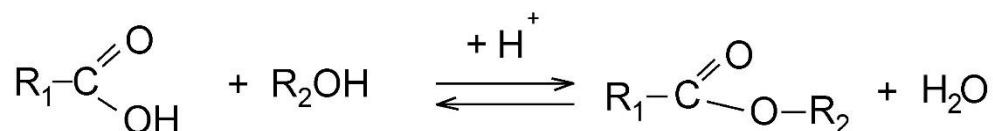
Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. Задача оперативного получения апротонных растворителей в условиях предприятий сельского хозяйства является актуальной, поскольку изготовление и применение таких растворителей позволит осуществлять подбор необходимого реагента для очистки поверхности металла от остатков краски, ржавчины, либо иных загрязнений. Настоящая работа посвящена изучению кинетики реагирования этанола с уксусной кислотой с целью получения этилового эфира уксусной кислоты. Показано, что порядок данной реакции по уксусной кислоте близок к первому. Константа скорости реакции в выбранных условиях проведения составляет $0,0014 \text{ сек}^{-1}$.

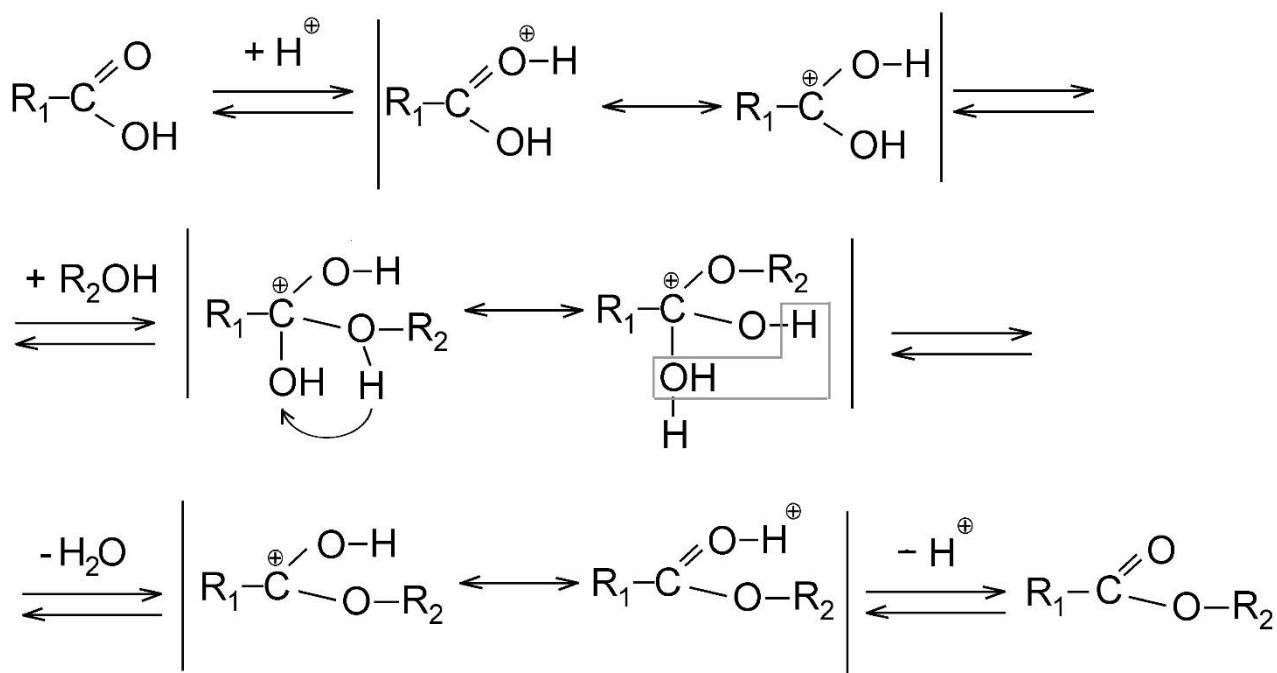
Ключевые слова: кинетика реакции, гомогенная реакция, порядок реакции, уксусная кислота, одноатомные спирты, сложные эфиры

Для предприятий сельского хозяйства значимой является задача получения полярных апротонных растворителей с различной температурой плавления и кипения [1-2]. Одним из классов соединений, пригодных для применения в качестве растворителей, являются сложные эфиры. Такие эфиры представляют собой соединения с общей формулой $R_1\text{-COO-R}_2$, где R_1 и R_2 – органические радикалы, и получаемые главным образом из соответствующих им карбоновых кислот ($R_1\text{-COOH}$) и одноатомных спиртов (HO-R_2). Для получения сложных эфиров в лабораторных условиях используется реакция этерификации, проводимая в среде серной кислоты [3]. Серная кислота выступает в качестве катализатора и водоотнимающего агента.



Настоящая работа посвящена изучению кинетики взаимодействия этилового спирта с уксусной кислотой, которое приводит к образованию этилового эфира уксусной кислоты.

Реакция простых одноатомных спиртов с карбоновыми кислотами не является элементарной, а идёт по механизму «присоединения-отщепления протона» [4]:



По этой причине порядок реакции между уксусной кислотой и этанолом по уксусной кислоте может отличаться от единицы.

Для исследования кинетики в пробирки наливали 0,5 мл 72 масс.% водного раствора уксусной кислоты (уксусной эссенции) и 20 мл этилового спирта 96 масс.%. Смесь нагревали до 50 °С, после чего к смеси добавляли 4 мл 98 масс.% серной кислоты [5]. Запах эфира обнаруживался только после добавления к смеси кислоты. Кинетику взаимодействия оценивали по снижению концентрации исходной уксусной кислоты (моль/л) в реакционной смеси при её взаимодействии с двадцатикратным избытком этилового спирта.

Скорость гомогенных реакций, протекающих в растворах, в общем виде описывается законом действующих масс [6-7]:

$$v = k \times C_A^a \times C_B^b \quad (1)$$

где:

k – константа скорости реакции (удельная скорость реакции). Размерность определяется порядком реакции; C_A , C_B – концентрации реагирующих веществ в момент времени τ , моль/л; a , b – стехиометрические коэффициенты веществ в соответствующем уравнении реакции [8].

Скорость реакций в зависимости от порядка реакции в общем виде описывается уравнением:

$$v = -\frac{dC}{d\tau} = k \times C^n \quad (2)$$

где:

C – Концентрация каждого компонента в момент времени τ (моль/л). Необходимое условие выполнения уравнения (2) – концентрации всех компонентов должны быть равны;

n – Суммарный порядок реакции – т.е. сумма стехиометрических коэффициентов (показателей степеней концентраций) в элементарных реакциях, составляющих механизм сложного химического превращения. Реакции могут быть нулевого, первого, второго, третьего и дробного порядка.

τ – время прохождения реакции, сек.

Однако скорость реакции можно оценивать только по одному из реагирующих компонентов. Тогда зависимость скорости реакции от концентрации по математической форме записи будет идентична зависимости (2):

$$v = -\frac{dC_A}{d\tau} = k \times C_A^n \quad (3)$$

где:

C_A – концентрация компонента А, участвующего в реакции (интересующего компонента), моль/л. В таком случае концентрации других компонентов в реакционной смеси должны быть в значительном избытке (не менее, чем в 10-ти кратном).

n – порядок реакции по компоненту А – т.е. стехиометрический коэффициент компонента А в элементарных реакциях, составляющих механизм сложного химического превращения. По каждому компоненту гомогенные реакции могут быть нулевого, первого, второго и дробного порядков.

Экспериментальная зависимость уменьшения концентрации уксусной кислоты от времени протекания реакции изображена на рисунке 1. Данные показывают, что реакция завершается за первые 270 секунд после начала. Также данные показывают, что порядок реакции по уксусной кислоте – близок к первому и соответствует зависимости:

$$v = -\frac{dC}{d\tau} = k \times C^1 \quad (4)$$

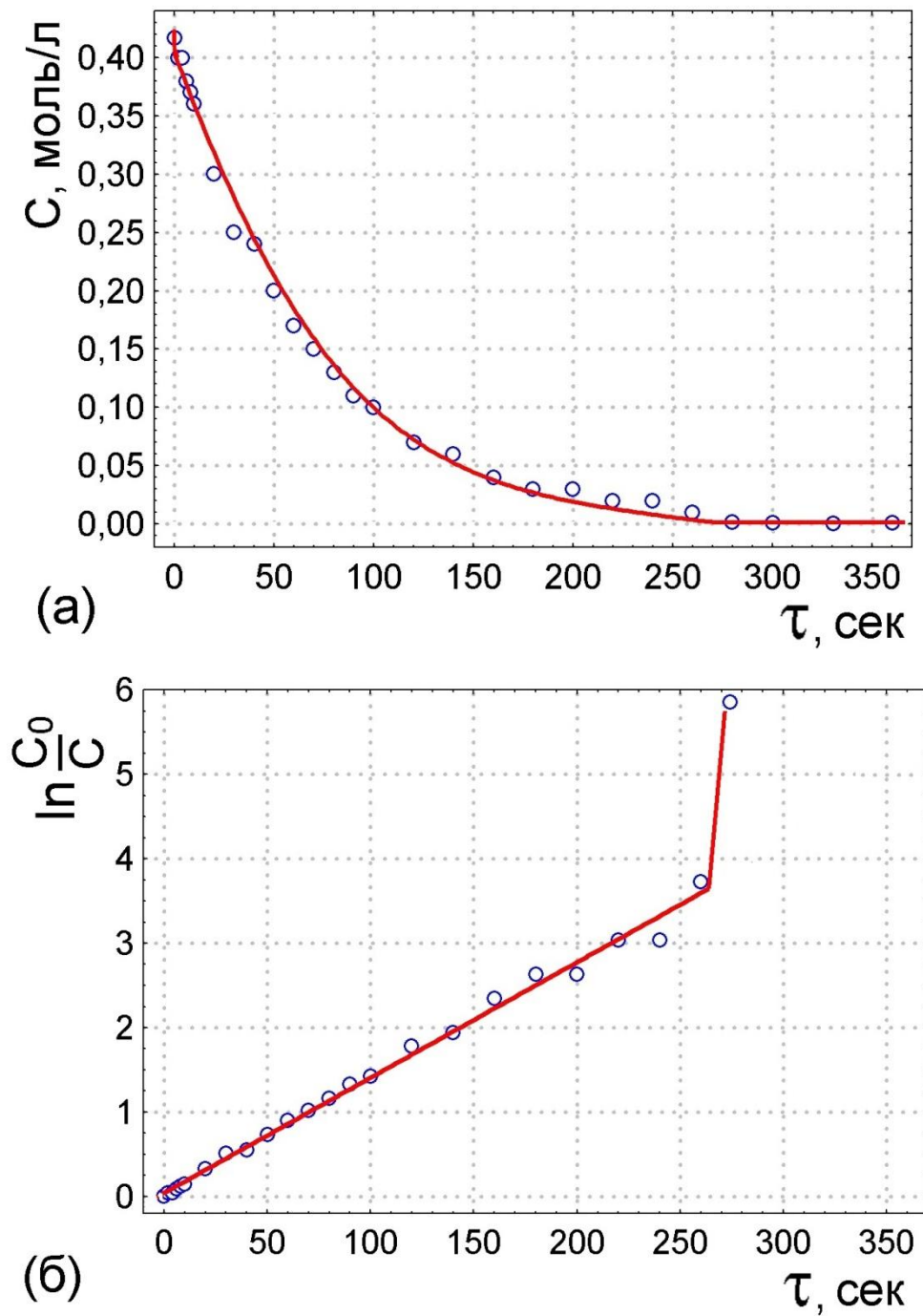


Рисунок 1. Зависимость концентрации уксусной кислоты (C , моль/л) от времени реакции (τ , сек). (а) – в обычных координатах τ – C ; (а) – в логарифмических координатах τ – $\ln(C_0/C)$

Интегрируя выражение (4) в пределах $C = C_0$ при $\tau = 0$, и $C = C$ при $\tau = \tau$, получим:

$$\ln \frac{C_0}{C} = k \times \tau \quad (5);$$

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C} \quad (6);$$

$$C = C_0 \times e^{-k\tau} \quad (7).$$

Из экспериментальных данных при температуре +50 °С константа реакции $k = 0,014 \text{ сек}^{-1}$.

Таким образом, в ходе проведённых исследований установлено, что порядок реакции по уксусной кислоте между водным раствором уксусной кислоты и этанолом в присутствии серной кислоты близок к первому. Константа скорости реакции в выбранных условиях синтеза при температуре 50 °С равна $0,0014 \text{ сек}^{-1}$.

Список литературы:

1. Торицына В.Н., Картечина Н.В., Яшина Т.К., Васильев В.П. Реализация проектов машинного обучения и искусственного интеллекта // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК. Материалы Международной научно-практической конференции. Мичуринск-наукоград РФ. 2021. С. 224-225.
2. Щербаков С.Ю., Криволапов И.П., Стрельников Д.И., Коробельников А.П. Характеристика методов проведения анализа риска // Наука и Образование. 2019. Т. 2. № 4.
3. Нейланд О.Я. Органическая химия / М.: «Высшая школа». 1990. 751 с.
4. Шаталова Н.И., Хайруллина О.Д., Сайфутдинова М.Н. Органическая химия. Галогенпроизводные углеводородов. Спирты. Фенолы: учебное пособие / Казань: Печать-сервис XXI век. 2023. 146 с.
5. Бучилин Н.В., Криволапов И.П., Щербаков С.Ю. Получение металлического никеля с использованием материально-технических ресурсов предприятий сельского хозяйства // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК. Материалы Международной научно-практической конференции. 2023. С. 24-27.

6. Дьяченко А.Н., Шагалов В.В. Химическая кинетика гетерогенных процессов / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. 102 с.

7. Степановских Е.И., Брусницына Л.А., Виноградова Т.В. Химическая кинетика и свойства гетерогенных систем. Учебник / Екатеринбург: Издательство Уральского университета. 2023. 280 с.

8. Ипполитов Е.Г., Артемов А.В., Батраков В.В. Физическая химия / М.: Издательский центр «Академия». 2005. 448 с.

UDC 664.286

INVESTIGATION OF THE KINETICS OF ETHANOL - ACETIC ACID INTERACTION

Nikolai V. Buchilin

candidate of technical sciences, associate professor

isk115599@rambler.ru

Larisa Iv. Nikonorova

candidate of agricultural sciences, associate professor

lenaniknrva@rambler.ru

Natalia V. Kartechina

candidate of agricultural sciences, associate professor

kartechnatali@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Abstract. The task of operative obtaining of aprotic solvents in the conditions of agricultural enterprises is relevant, since the manufacture and use of such solvents will allow to apply necessary reagent for cleaning the metal surface from paint residues, rust, or other contaminants. This work is devoted to the study of the kinetics

of the reaction of ethanol with acetic acid in order to obtain ethyl ether of acetic acid. It is shown that the order of this reaction for acetic acid is close to one. The reaction rate constant under the selected conditions is 0.0014 sec⁻¹.

Keywords: reaction kinetics, homogeneous reaction, reaction order, acetic acid, monatomic alcohols, esters.

Статья поступила в редакцию 10.09.2025; одобрена после рецензирования 20.10.2025; принята к публикации 31.10.2025.

The article was submitted 10.09.2025; approved after reviewing 20.10.2025; accepted for publication 31.10.2025.