



## ВЛИЯНИЕ МИКРОПРИМЕСЕЙ НА ХАРАКТЕР ОСЦИЛЛЯЦИЙ РЕАКЦИИ БРИГГСА–РАУШЕРА

*Д. А. Усанов, А. П. Рытик, О. Ю. Кутикова, А. А. Иванова*

Саратовский национальный исследовательский  
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского  
Россия, 410012 Саратов, ул. Астраханская, 83  
E-mail: UsanovDA@info.sgu.ru, ra4csz@yandex.ru,  
Oksana.296@mail.ru, IvaaLexsandra@yandex.ru

Для реакции Бриггса–Раушера обнаружен эффект сверхчувствительности характеристик колебаний при добавлении в качестве примеси в среду раствора реакции соли (NaCl). Период колебаний реакции изменялся уже при концентрации NaCl 0.006 % от общего объема смеси. Обнаружен так называемый пороговый эффект, заключающийся в остановке автоколебательного режима в одной из фаз, в зависимости от концентрации NaCl. При введении этанола или ацетона заметное изменение реакции происходило при минимальных концентрациях: для этанола 0.8 %, для ацетона – 1.7 %. Различная концентрация примеси приводит к изменению времени осцилляций, их числа и общего времени автоколебательного режима, амплитуды и формы релаксационных колебаний электрохимического потенциала. Сделан вывод о выраженности управления химическим процессом осцилляции и его остановки в определенной фазе, путем добавления примесей в реакции. Количественной основой для определения указанных и других веществ (и слабых внешних воздействий) может быть зависимость частоты (периода) колебаний от концентрации реагентов или катализатора. Данные, описанные в работе для химического осциллятора, подтверждаются процессами и в биологических автоколебательных процессах. Обнаруженный в работе так называемый пороговый эффект может быть полезен для понимания специфики стадии затухания процессов в биологических осцилляторах.

*Ключевые слова:* Автоколебательная реакция, нелинейная система, пороговый эффект, фаза колебаний.

DOI: 10.18500/0869-6632-2017-25-2-63-73

*Образец цитирования:* Усанов Д.А., Рытик А.П., Кутикова О.Ю., Иванова А.А. Влияние микропримесей на характер осцилляций реакции Бриггса–Раушера // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2017. Т. 25, № 2. С. 63–73.

## THE INFLUENCE OF THE TRACE SUBSTANCES ON THE NATURE OF THE BRIGGS–RAUSCHER OSCILLATING REACTION

*D. A. Usanov, A. P. Rytik, O. U. Kutikova, A. A. Ivanova*

Saratov State University, Russia  
410012 Saratov, Astrakhanskaya str., 83  
E-mail: UsanovDA@info.sgu.ru, ra4csz@yandex.ru,  
Oksana.296@mail.ru, IvaaLexsandra@yandex.ru

The effect of hyperesthesia of characteristics of vibrations while adding the table salt (NaCl) as a trace substance into the reaction medium has been found for the Briggs–Rauscher oscillating reaction. The cycle of oscillations has already changed when the concentration of NaCl was 0.006 % of the total volume of the mixture. The so-called threshold effect involving the shutoff of self-induced vibration regime during one of the phases (dark or light phase) according to the concentration of NaCl was discovered. With the introduction of ethanol or acetone the significant change in the reaction has occurred at minimal concentration: 0.8 % for ethanol, 1.7 % for acetone. Different concentration of the trace substance leads to the change of the time and number of oscillations and the total time of self-induced vibration regime, the amplitude, and the form of relaxation vibrations of electrochemical potential. The conclusion about the degree of control of the process of oscillations and its shutoff in the certain phase by adding the trace substances into the reactions has been made. The quantitative basis for identifying of described and other substances (and their weak external influences) is meant to be the correlation between the oscillation frequency (period) and the concentration of the reagent and the catalyst. The information, described in the work for chemical oscillator, is confirmed by biological self-oscillating processes. The threshold effect, found in the work, may be useful for understanding of the specifics of the fading stage in biological oscillators.

*Keywords:* Self-oscillating reaction, non-linear system, threshold effect, vibration phase.

DOI: 10.18500/0869-6632-2017-25-2-63-73

*Paper reference:* The influence of the trace substances on the nature of the Briggs–Rauscher oscillating reaction. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2017. Vol. 25. Issue 2. P. 63–73.

### Введение

Известны работы, посвященные исследованию влияния микропримесей на характер осцилляций химических автоколебательных реакций [1–3]. Эффект зачастую состоит в изменении времени остановки колебательного режима в зависимости от исходной концентрации примеси в реакции. Например, в [1] рассмотрено влияние фосфолипидного слоя в растворе при образовании новых ведущих центров, ответственных за автоколебания. Наличие подобного слоя позволяет изменять количество взаимодействующих центров реакции, что в свою очередь приводит к изменению времени протекания реакции. В [4] приведены исследования влияния интенсивности перемешивания раствора автоколебательной реакции Бриггса–Раушера (БР) на характер концентрационных колебаний. Подчеркивается возможность появления новых эффектов в нелинейных динамических системах при неидеальном перемешивании. Неустойчивость химической нелинейной системы сопровождается высокой чувствительностью к внешним и внутренним флуктуациям. Высокая чувствительность к начальным условиям, перемешиванию и воздействию внешних факторов наблюдается и в реакции Белоусова–Жаботинского, а также в других химических автоколебательных реакциях [5]. В частности, следует отметить, что влияние элект-

тромагнитного излучения также изменяет характер протекания химического автоколебательного процесса [6, 7]. В работе [6] показана возможность изменения времени режима автоколебаний при влиянии электромагнитного излучения, а в [7] – возможность инициирования новых центров реакции при воздействии ионизирующего излучения.

Вызывают интерес работы посвященные практическому применению специфичной высокой чувствительности автоколебательных реакций к воздействию на них внешних факторов. Так в работе [8] анализируется антиоксидантная активность в различных типах хорватских красных и белых вин, путем ингибирования автоколебательного режима реакции БР. Экспериментально была доказана линейная зависимость между общим содержанием фенольных групп и временем торможения реакции БР. В работе [3] приведены результаты использования автоколебательной реакции БР для анализа антиоксидантной активности в чае гибискуса.

Известны работы, показывающие, что повышение малой дозы NaCl в крови, протекающей через сердце лягушки, вызывает существенные замедления работы сердца, вплоть до полной остановки. После прибавления больших количеств NaCl отмечается небольшое снижение частоты сердцебиений на изолированном сердце млекопитающих. То есть, увеличение дозы выше некоторого значения вызывает ослабление действия вводимого вещества. При сохранении осмотического давления пониженное содержание NaCl вызывает обычно замедление ритма сердцебиений. Эффект сверхчувствительности характеристик колебаний (гормезис) наблюдается при исследовании разнообразных химических агентов: регуляторов роста растений, противоопухолевых препаратов, нейропептидов и гормонов, иммуномодуляторов, антиоксидантов и других как белковых, так и небелковых соединений [9].

Автоколебательная реакция БР включает в себя йодирование и окисление органического субстрата (малоновой кислоты или её производных) в присутствии  $H_2O_2$  и ионов  $Mn^{2+}$  как катализатора [10]. Интенсивное перемешивание раствора приводит к одновременному, по всему объему реактора, переключению фазы реакции, что характерно для большинства подобных систем [4, 5]. Представляет интерес исследовать чувствительность химических автоколебательных реакций к микропримесям, способным образовывать химические связи с основными компонентами реакции.

Целью работы явилось исследование влияния микропримесей, в частности, этанола, ацетона и NaCl, на характер автоколебательного режима реакции Бриггса-Раушера.

## 1. Экспериментальная часть

В ходе исследований в химический стакан, объемом 100 мл, помещали два электрода, расположенных параллельно друг другу на одном уровне: индикаторный йод- селективный электрод (ЙСЭ) «Элит-281» и электрод сравнения (рис. 1, а). Для регистрации потенциала датчики подсоединяли к химическому анализатору жидкости серии «Эксперт-001» (изготовитель научно-производственная фирма «Эконикс-Эксперт»). Стакан устанавливали на магнитной мешалке, после чего добавляли по 2.00 мл каждого из трех растворов реакции БР. В начальный момент при составлении раствора в качестве микропримеси в первой серии экспериментов добавляли ацетон. После добавления всех реактивов и запуска реакции при помощи программы Exр2рг анализировали колебания концентрации свободного йода в реакции БР.

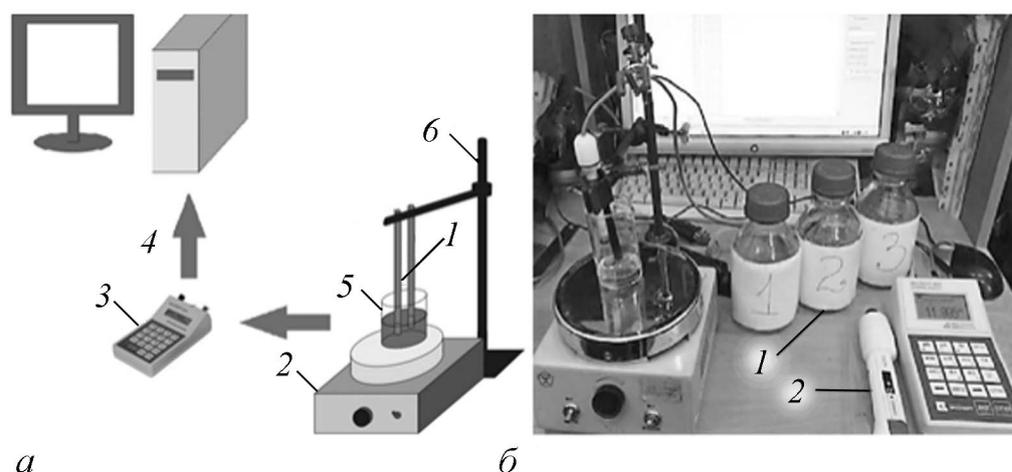


Рис. 1. *а* – блок-схема экспериментальной установки: 1 – электроды (йод-селективный электрод и электрод сравнения), 2 – магнитная мешалка, 3 – анализатор жидкости, 4 – ПК, 5 – химический стакан, 6 – штатив; *б* – фотография экспериментальной установки: 1 – растворы; 2 – дозатор

Запись данных эксперимента проводили в режиме реального времени и останавливали после прекращения колебаний в реакции. Для выявления влияния минимальной предельной массовой доли ацетона, заметно изменяющей ход реакции, аналогичные действия провели в последующих экспериментах, изменив только количество примеси. Все измерения проводились при комнатной температуре.

Для проведения реакции БР готовили следующие растворы.

*Раствор 1:* 360 мл пероксида водорода с массовой долей 33 % разбавляли до 1 л дистиллированной водой.

*Раствор 2:* 43 г иодата калия растворяли в 100 мл дистиллированной воды при 40–50°C, охлаждали, добавляли по каплям 4.4 мл концентрированной серной кислоты и разбавляли до 1 л дистиллированной водой.

*Раствор 3:* 0.3 г крахмала взбалтывали в стакане с небольшим объемом в 10 мл дистиллированной воды и вливали 100 мл кипящей дистиллированной воды.

Отдельно в 700 мл дистиллированной воды растворяли 3 г сульфата марганца (II) и 15.6 г малоновой кислоты. Оба раствора смешивали и разбавляли до 1 л дистиллированной водой.

Для составления реакции БР смешивались три вышеуказанных раствора по 2 мл каждого. В первой серии экспериментов после составления БР в качестве примеси в реакцию добавляли ацетон; во второй – этанол; в третьей – NaCl в количестве 0.0091 %, 0.0071 %, 0.0063 %, соответственно. Массовые доли получали путем растворения NaCl в дистиллированной воде.

## 2. Результаты и обсуждение

**Влияние ацетона.** В первой серии экспериментов исследовали особенности автоколебательного режима БР в присутствии ацетона. Установлено, что при добавлении в раствор ацетона происходит увеличение периода времени осцилляций реакции БР. Одной из возможных новых стадий реакции при добавлении ацетона могло быть взаимодействие ацетона с водой, содержащейся в растворе. При добавлении

ацетона могло происходить также взаимодействие ацетона с йодом с образованием трийодметана (йодоформ). Следует заметить, что протекание этой реакции более характерно для щелочной среды



Был установлен минимальный предел количества ацетона в среде реакции БР, при котором изменяется время между осцилляциями. В рамках данного исследования он составил 1.7% от общего объема смеси. Отметим, что образование йодоформа как соединения, устойчивого во времени, должно приводить к уменьшению количества свободного йода в среде реакции, что, в свою очередь, вызывает уменьшение амплитуды регистрируемого потенциала ЙСЭ.

На рис. 2 показана зависимость длительности периода колебаний от его номера с момента начала реакции. Из результатов, приведенных на рис. 2, видно, что в зависимости от концентрации ацетона происходит существенное отличие по периоду протекания колебательных процессов. В первые секунды протекания реакции колебания потенциала происходят у всех трёх образцов практически синхронно. Однако с увеличением времени видно, что в растворе образца с добавлением 1.70% ацетона колебания происходят с запаздыванием относительно тех же процессов в образцах с добавлением 3.20% и 4.80% ацетона.

Для оценки поведения колебаний во всех состояниях системы при добавлении примесей, в математическом пакете Mathcad14 было произведено построение фазовых портретов, которые представлены на рис. 3. Из рисунка видно, что в зависимости от концентрации примеси начальные точки «1» и конечные точки «2» осцилляций смещаются. Так, начальная точка «1» на рис. 3, в смещена по оси ординат относительно начальной точки на рис. 3, а и относительно этой же точки на рис. 3, б. Также из рисунка видно, что концентрация примеси существенно влияет и на характер колебаний, в частности, на количество осцилляций.

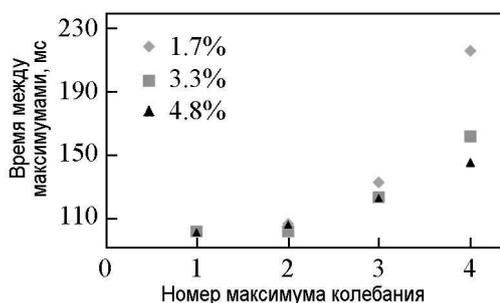


Рис. 2. Влияние концентрации ацетона и числа осцилляций на период между максимумами колебаний



Рис. 3. Фазовые портреты при разной концентрации микропримесей ацетона: а – 1.70%, б – 3.20%, в – 4.80%. Здесь и далее ЙСЭ – йодо-селективный электрод; 1 – точка начала осцилляций, 2 – точка окончания осцилляций

Наибольшее число осцилляций, а именно, 7 (см. рис. 3, б) соответствует случаю добавления 3.20 % примеси ацетона, а наименьшее их число наблюдается при концентрации примеси ацетона 1.70 % (см. рис. 3, а).

Таким образом, добавление ацетона оказывает прямое влияние на период колебания реакции БР и их число.

**Влияние этанола.** Во второй серии экспериментов в раствор реакции БР в качестве примеси добавляли этанол (чистотой 89 %) в объемах: 0.80 %, 1.70 %, 2.40 %, 3.20 %, 4.80 %. Как и в первой серии экспериментов, одной из возможных новых стадий в реакции БР может являться взаимодействие компонентов реакции с примесью, например, их пересольватация. Кроме того, добавление этанола, как и ацетона, может приводить к изменению свойств растворителя (например, его структуры) в реакции. Кроме того, входящая в состав раствора реакции БР малоновая кислота может вступать в реакцию со спиртом, что может приводить к изменению концентрации исходных компонентов реакции и, в свою очередь, изменять характер осцилляций

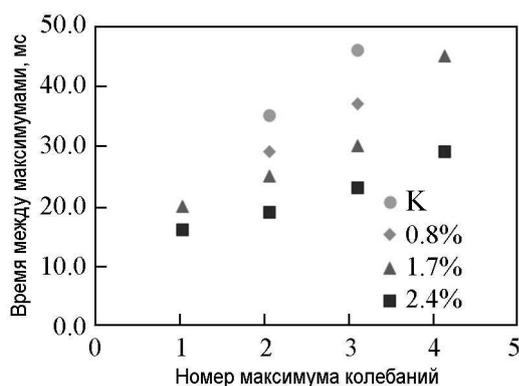
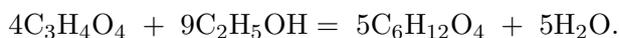


Рис. 4. Влияние концентрации этанола и числа осцилляций на период между максимумами колебаний. Здесь и далее К – контрольный раствор без примесей

На рис. 4 приведена зависимость длительности периода колебаний от их номера. Видно, что, в отличие от случая добавления ацетона, имеется существенная разница в периоде колебаний после первой осцилляции в зависимости от концентрации спирта.

Добавление этанола приводит к увеличению количества осцилляций и общего времени существования автоколебательного режима. Аналогично предыдущему случаю были построены фазовые портреты при разных концентрациях примеси этанола (рис. 5). Из рисунка видно, что точки начала и окончания реакции, в отличие от экспери-

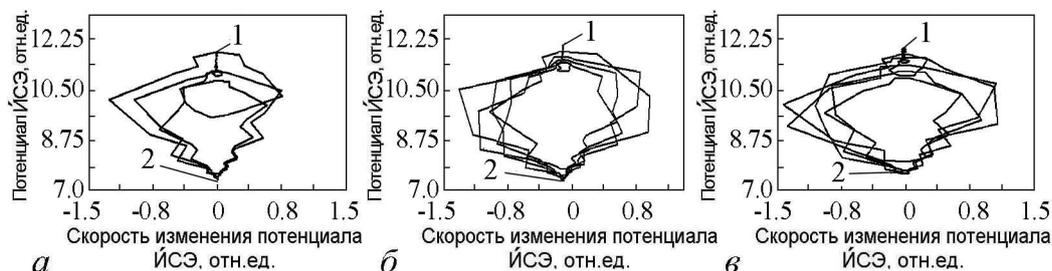


Рис. 5. Фазовые портреты при разной концентрации микропримесей этанола: а – 0.80 %, б – 1.70 %, в – 2.40 %

мента с добавлением ацетона, несущественно смещаются друг относительно друга по оси ординат. Так, начальная точка «1» на рис. 5, б смещена по оси ординат относительно начальной точки на рис. 5, а меньше, чем начальная точка на рис. 3, б относительно той же точки на рис. 3, а. В этом случае также количество осцилляций изменяется с добавлением примесей этанола, а именно: 4 при концентрации примеси 0.80 % (см. рис. 5, а) и 5 при концентрациях примеси 1.70 % и 2.40 % (см. рис. 5, б и в, соответственно).

**Влияние соли NaCl.** В третьей серии экспериментов исследовали особенности автоколебательного режима БР в присутствии хлорида натрия. Был установлен минимальный предел количества NaCl в среде реакции БР, при котором наблюдаются изменения времени между осцилляциями. В рамках данного исследования он составил 0.006 % от общего объема смеси. На рис. 6 приведен график зависимости потенциала йод-селективного электрода от времени протекания реакций. Из рисунка видно, что с момента времени 206с наблюдается разделение кривых по скорости протекания реакции в зависимости от концентрации добавленной примеси.

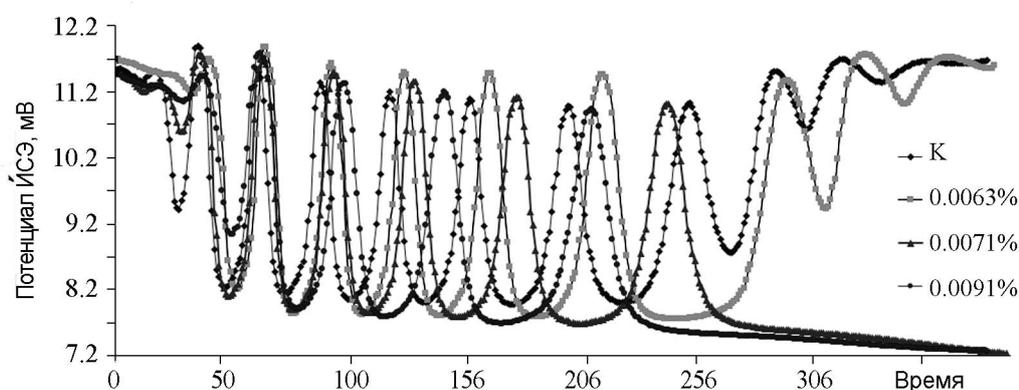


Рис. 6. Влияние концентрации NaCl на динамику изменения потенциала йод-селективного электрода во времени в ходе реакции БР

На рис.7 показана зависимость длительности периода колебаний от их номера.

Видно, что, также как и в случае с ацетоном, в начальный момент времени протекания реакции колебания потенциала происходят у всех образцов одновременно. Однако с течением времени в растворах образцов с повышенной массовой долей растворенного вещества (0.0091 % и 0.0071 %) колебания происходят с запаздыванием относительно начала колебаний в остальных образцах.

Стоит обратить внимание на то, что, в отличие от добавления примесей

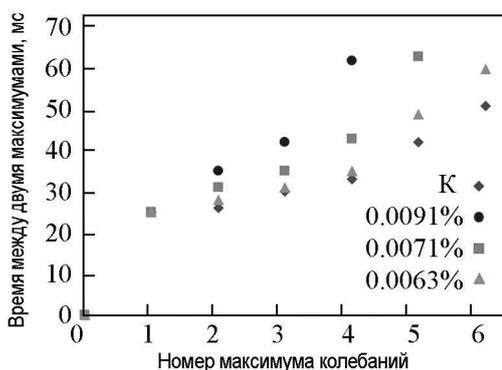


Рис. 7. Влияние концентрации NaCl и числа осцилляций на период между максимумами колебаний

в предыдущих сериях эксперимента, хлорид натрия влияет на так называемый пороговый эффект реакции. То есть, насыщение происходит в разных стадиях реакции, в зависимости от добавленного количества микропримеси NaCl. Для более наглядного представления порогового эффекта на рис. 8 представлены фазовые портреты реакции при разных концентрациях примеси хлорида натрия. Отметим, что это единственная примесь, которая при таких малых концентрациях уже вызывает пороговый эффект (ср. рис. 8, б и рис. 8, в).

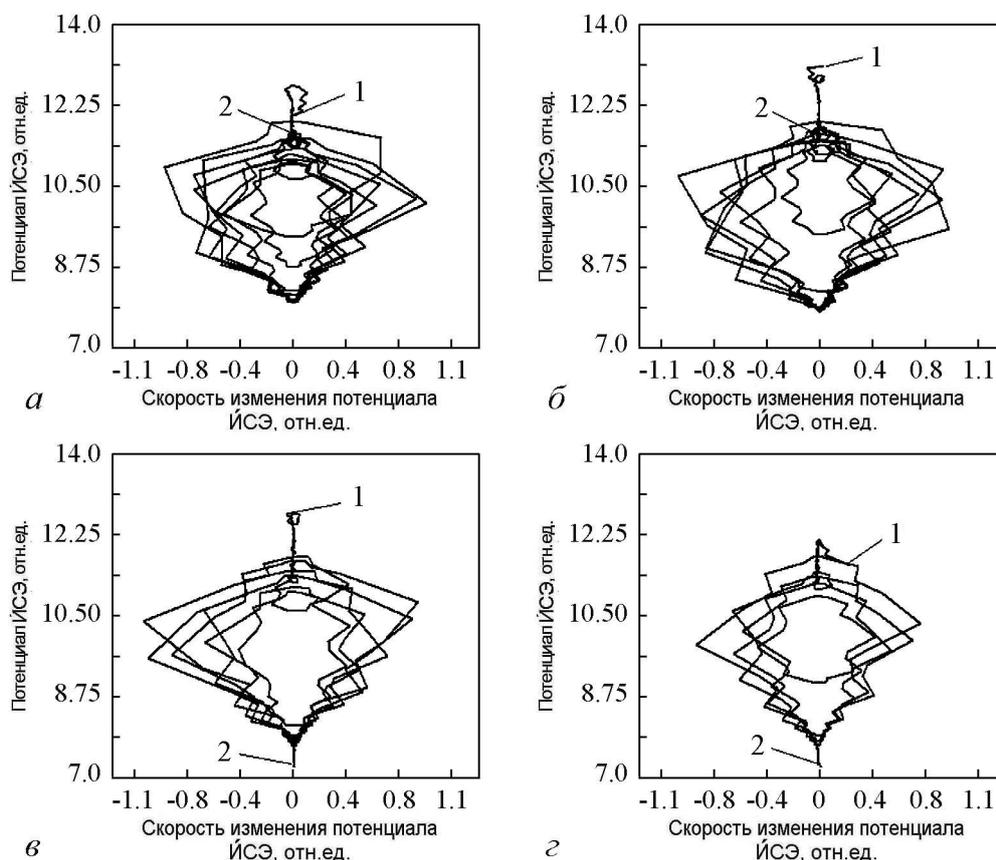


Рис. 8. Фазовые портреты при разной концентрации микропримесей NaCl: а – раствор без примесей, б – 0.0063 %, в – 0.0071 %, г – 0.0091 %

### Заключение

Таким образом, характеристики реакции Бриггса–Раушера демонстрируют высокую чувствительность к присутствию примесей ацетона, этанола и NaCl. Различная концентрация примеси приводит к изменению времени осцилляций, их числа и общего времени автоколебательного режима. Кроме того изменяется амплитуда и форма релаксационных колебаний электрохимического потенциала. При этом NaCl, является единственной примесью, которая вызывает сильный пороговый эффект при малых концентрациях. Поэтому можно говорить об управлении химическим процес-

сом осцилляции и его остановке в определенной фазе, путем добавления примесей в реакции. Количественной основой для определения указанных веществ (и слабых внешних воздействий) может быть зависимость частоты (периода) колебаний от концентрации реагентов или катализатора.

Полученные результаты могут представлять интерес при исследованиях, например, воздействия микропримесей на живые системы [11, 12]. Данные, описанные в работе для химического осциллятора, подтверждаются процессами и в биологических автоколебательных процессах. Так, определенные количества микропримеси NaCl в крови, протекающей через сердце лягушки, замедляют его работу, вплоть до полной остановки [13]. К тому же известно, что некоторые вещества, например, яд мускарин, может останавливать сердце в фазе систолы или диастолы. Таким образом обнаруженный в работе так называемый пороговый эффект может быть полезен для понимания специфики стадии затухания процессов в биологических осцилляторах.

### Библиографический список

1. *Szymanski J., Gorecki J., Hauser M.J.B.* Chemo-mechanical coupling in reactive droplets // *J. Phys. Chem.* 2013. Vol. 25. P. 117.
2. *Cervellati R.* The Briggs–Rauscher reaction as a test to measure the activity of antioxidants // *Helv. Chim. Acta.* 2001. Vol. 84. P. 3547.
3. *Prenci E.* Antioxidant power quantification of decoction and cold infusions of *Hibiscus sabdariffa* flowers // *Food Chem.* 2007. Vol. 100. P. 433.
4. *Vanag V.K., Boulanov D.V.* Behavior of the Belousov–Zhabotinskii oscillator in reverse micelles of AOT in octane // *J. Phys. Chem.* 1994. Vol. 98. P. 1449.
5. *Вавилин В.А.* Автокатализ и флуктуации в природе // *Природа.* 2005. № 6. С. 52.
6. *Рытик А.П., Усанов Д.А.* Влияние электромагнитного излучения на автоколебательную реакцию Бриггса–Раушера // *Журн. физ. химии.* 2013. Т. 87, № 5. С. 891.
7. *Лебедев В.М., Приселкова А.Б., Спасский А.В. и др.* Инициация ведущих центров в реакции Белоусова–Жаботинского под действием пучка альфа-частиц с энергией 30 МэВ // *Препринт НИИЯФ МГУ.* 2005. С. 31.
8. *Gajdoš Kljusuric J., Djakovic S., Kruhak I.* Application of Briggs–Rauscher reaction for measurement of antioxidant capacity of Croatian wines // *Acta Alimentaria,* 2005 Vol. 34. P. 483–492.
9. *Булатов В.В., Хохоев Т.Х., Дикий В.В. и др.* Проблема малых и сверхмалых доз в токсикологии. Фундаментальные и прикладные аспекты // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева).* 2002. Т. XLVI, № 6. С. 58–62.
10. *Жаботинский А.М., Огмер Х., Филд Р. и др.* Колебания и бегущие волны в химических системах / *Пер. с англ. под ред. Р. Филда и М. Бургера.* М.: Мир, 1988. С. 720.
11. *Калиниченко Л.П., Христова М.Л., Шноль С.Э.* Влияние алифатических спиртов на амплитуду конформационных колебаний миозина и на скорость поглощения кислорода митохондриями. М.: Наука, 1969. С. 89–106.

12. Бреус Т.К., Чибисов С.М., Баевский Р.Н. и др. Хроноструктура ритмов сердца и факторы внешней среды. М.: Российск. ун-т. дружбы народов, 2002. С. 232.
13. Стерин И.Е. О парадоксальном действии калия и кальция-калиевая контрактура изолированного сердца лягушки // Физиологический журнал. СССР. 1934. Т. 17, № 4. С. 869.

## References

1. Szymanski J., Gorecki J., Hauser M.J.B. Chemo-mechanical coupling in reactive droplets. *J. Phys. Chem.* 2013. Vol. 25. P. 117.
2. Cervellati R. The Briggs–Rauscher reaction as a test to measure the activity of antioxidants. *Helv. Chim. Acta.* 2001. Vol. 84. P. 3547.
3. Prenesti E. Antioxidant power quantification of decoction and cold infusions of Hibiscus sabdariffa flowers. *Food Chem.* 2007. Vol. 100. P. 433.
4. Vanag V.K., Boulanov D.V. Behavior of the Belousov–Zhabotinskii oscillator in reverse micelles of AOT in octane. *J. Phys. Chem.* 1994. Vol. 98. P. 1449.
5. Vavilin V.A. Avtokataliz i fluktuatsii v prirode. *Priroda.* 2005. No.6. P. 52 (in Russian).
6. Rytik A.P. Usanov D.A. Vliyaniye elektromagnitnogo izlucheniya na avtokolebatelnuyu reaktsiyu Briggса–Raushera. *Zhurn. fiz. khimii.* 2013. Vol. 87, No.5. P. 891 (in Russian).
7. Lebedev V.M., Priselkova A.B., Spasskiy A.V. i dr. Initsiatsiya vedushchikh tse ntrov v reaktsii Belousova–Zhabotinskogo pod deystviyem puchka alfa-chastits s energiyey 30 MeV. *Preprint NIIYaF MGU.* 2005. P. 31 (in Russian).
8. Gajdoš Kljusuric J., Djakovic S., Kruhac I. Application of Briggs–Rauscher reaction for measurement of antioxidant capacity of Croatian wines. *Acta Alimentaria.* 2005. Vol. 34. P. 483–492.
9. Bulatov V.V., Khokhoyev T.Kh., Dikiy V.V. i dr. Problema malykh i sverkhmalykh doz v toksikologii. Fundamentalnyye i prikladnyye aspekty. *Ros. khim. zh. (Zh. Ros. khim. ob-va im. D.I. Mendeleyeva).* 2002. Vol. XLVI, No.6. P. 58–62 (in Russian).
10. Zhabotinskiy A.M., Ogmer Kh., Fild. R. i dr. Kolebaniya i Begushchiye Volny v Khimicheskikh Sistemakh / Per. s angliyskogo pod red. R. Filda i M. Burgera. М.: Mir, 1988. P. 720 (in Russian).
11. Kalinichenko L.P., Khrstova M.L., Shnol S.E. Vliyaniye Aifaticheskikh Spirtov na Amplitudu Konformatsionnykh Kolebaniy Miozina i na Skorost Pogloshcheniya Kislороda Mitokhondriyami. М.: Nauka, 1969. P. 89–106 (in Russian).
12. Breus T.K., Chibisov. S.M., Bayevskiy R.N. i dr. Khronostruktura Ritmov Serdtsa i Faktory Vneshney Sredy. М.: Rossiysk. Universitet Druzhby Narodov, 2002. P. 232 (in Russian).
13. Sterin I.E. O paradoksalnom deystvii kaliya i kaltsiya–kaliyevaya kontraktura izolirovannogo serdtsa lyagushki. *Fiziologicheskii zhurnal.* SSSR. 1934. Vol. 17, No. P. 869 (in Russian).

Поступила в редакцию 14.02.2017  
После доработки 14.03.2017



*Усанов Дмитрий Александрович* – родился (1943) в Менделеевске (Татарстан). Окончил физический факультет Саратовского госуниверситета (1965). Защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности «физика полупроводников и диэлектриков» (1972, СГУ) и диссертацию на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности «радиофизика, включая квантовую радиофизику» (1989, СГУ). Заведующий кафедрой физики твёрдого тела (с 1985, СГУ), занимал должность проректора СГУ по научной работе (1989–2013). Заслуженный деятель науки Российской Федерации (1998). Обладатель Государственной научной стипендии РАН для учёных (2000). Автор монографий и более 200 статей в центральной и зарубежной печати и 174 авторских свидетельств и патентов.

Россия, 410012 Саратов, ул. Астраханская, 83  
Саратовский государственный университет  
E-mail: UsanovDA@info.sgu.ru



*Рытик Андрей Петрович* – родился в Саратове (1980). Защитил диссертацию на соискание степени кандидата физико-математических наук (2006, СГУ). В 2010 году присвоено ученое звание Доцент кафедры медицинской физики (с 2010). Область научных интересов: биомедицинская физика, физика взаимодействия терагерцового излучения с физическими средами. Опубликовал более 100 статей в отечественных и зарубежных журналах.

Россия, 410012 Саратов, ул. Астраханская, 83  
Саратовский государственный университет  
E-mail: UsanovDA@info.sgu.ru, ra4csz@yandex.ru,  
IvaaLexusandra@yandex.ru, Oksana.296@mail.ru



*Кутикова Оксана Юрьевна* родилась в Саратове (1996). В 2013 году поступила в Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» на факультет нано- и биомедицинских технологий, направление «физика», кафедра медицинской физики. Отличником учебы. Принимает участие с докладами в ежегодной студенческой конференции, на которой в 2016 году заняла первое место. Научные интересы: автоколебания в биофизике.

Россия, 410012 Саратов, ул. Астраханская, 83  
Саратовский государственный университет  
E-mail: Oksana.296@mail.ru



*Иванова Александра Андреевна* родилась в 1995 году в Саратове. В 2013 году поступила в Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» на факультет нано- и биомедицинских технологий, направление «физика», кафедра медицинской физики. Принимает участие с докладами в ежегодной студенческой конференции. Научные интересы: автоколебания в биофизике.

Россия, 410012 Саратов, ул. Астраханская, 83  
Саратовский государственный университет  
E-mail: IvaaLexusandra@yandex.ru