

ВЫЯВЛЕНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СОСТОЯНИЙ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УТРАИВАЮЩИХСЯ ПЕРИОДОВ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРА ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

© 2019 г. В.А. Коломбет, В.Н. Лесных, С.Э. Шноль

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН,
ул. Институтская, 3, Пущино, Московская область, 142290, Россия

E-mail: v.kolombet@rambler.ru

Поступила в редакцию 27.06.2019 г.

После доработки 27.06.2019 г.

Принята к публикации 09.08.2019 г.

Показано, что обычный генератор периодических колебаний может быть использован в роли усилителя периодических помех. Наблюдаемые в эксперименте резкие скачки частоты генератора вполне отвечают так называемым языкам Арнольда. Как известно, последние возникают при синхронизации периодического процесса внешней периодической силой. Результаты наших экспериментов надо рассматривать как доказательство существования этой силы — периодического процесса, влияющего на частоту генератора. Этот скрытый периодический процесс принадлежит так называемой универсальной системе утраивающихся периодов. Она уже многократно выявлялась по косвенным признакам — по подстройке к этой силе множества технических, астрономических, физических, геофизических, биологических и пр. периодических явлений. Существование универсальной системы утраивающихся периодов следует учитывать, в частности, при конструировании и отладке технических устройств, в том числе, как мы показали ранее, медицинского направления.

Ключевые слова: генератор периодических колебаний, система утраивающихся периодов.

DOI: 10.1134/S0006302919060164

В работах, выполненных на основании анализа литературных данных (см., например, работы [1–5]), показано существование фундаментальной универсальной системы утраивающихся периодов (УСУП), простирающейся в аномально широком диапазоне периодов ($>10^{30}$) и наблюдающейся в предельно широком спектре процессов самой различной природы. Мы предполагали, что все эти процессы проявили точную подстройку к частотам УСУП, и хотя это выглядело как обнаружение УСУП, на самом деле во многих случаях это были результаты эволюционной подстройки, отражение факта существования УСУП в виде подстроенных к УСУП разнообразных периодических процессов. Отсюда и вытекает наблюдаемая широта проявлений этого феномена в самых различных явлениях. Следующим шагом стало создание методики изучения УСУП в активном эксперименте посредством пробного зондирующего периодического процесса. На этом частном примере нам удастся более подробно

представить процесс подстройки к УСУП множества процессов различной природы.

МЕТОД

Цикл автономного периодического процесса содержит ряд неустойчивостей — появлений лавинообразных процессов в моменты замыкания положительных обратных связей (рис. 1).

В эти моменты времени особенно высока чувствительность к внешним факторам. Если такой фактор — помеха — представляет собой периодический процесс, то при соблюдении дополнительных условий может возникнуть явление синхронизации, захвата генератором частоты периодической помехи (рис. 2).

Любой генератор периодических колебаний является узкополосным частотным фильтром предсуществующих слабых периодических колебаний, а также их усилителем. Это позволяет экспериментально выявлять интересующие нас периоды универсальной системы утраивающихся периодов согласно следующему эмпирическому выражению:

Сокращения: УСУП — универсальная система утраивающихся периодов.

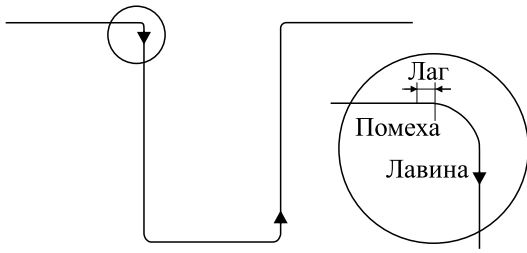


Рис. 1. Пара зон замыкания положительных обратных связей в цикле образования меандра. На врезке помечен момент возникновения готовности к появлению лавины, момент прихода импульса помехи, запускающего эту лавину, и лаг-участок — задержка до момента прихода помехи, т.е. до начала лавины.

$$T_{k,m} = T_0 3^k / 2^m,$$

где k и m — целочисленные индексы, а T_0 — эмпирический параметр, равный 114,57... лет [1–14].

В опытах по выявлению периодов УСУП мы использовали построенный на микросхеме К531ГГ1 генератор, управляемый напряжением. Напряжение, а значит, частоту генератора, задавали программно, используя цифро-аналоговый преобразователь микроконтроллера Arduino Due.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В опытах наблюдали не только захват генератором частоты периодической помехи, схематически представленный на рис. 2, но также и захваты более сложного вида — см. рис. 3 и, например, рис. 4 и рис. 5. В зоне захвата частоты устанавливалась не частота ω , соответствующая отношению периодов генератора, и помехи 1 : 1, как на рис. 2, а частота, соответствующая отношению периодов вида $n : \nu$ (в частности, 256 : 243;

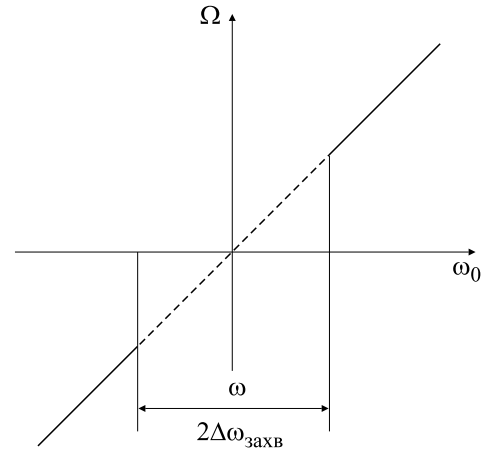


Рис. 2. В случае прихода сигнала периодической помехи с частотой, близкой к частоте генератора ω_0 , возникает явление захвата генератором частоты помехи. Наблюдаемая частота генератора Ω равна в зоне захвата частоте ω периодической помехи; а вне зоны захвата шириной $2\Delta\omega_{\text{захв}}$ наблюдаемая частота Ω совпадает с собственной частотой генератора ω_0 . Это простейший случай синхронизации — так называемый резонанс (язык Арнольда 1 : 1).

в спектре УСУП это соответствует резонансу $2^8/3^5$). В процессе синхронизации резонансы, отличные от 1 : 1, формируются, например, при регулярных пропусках импульсов периодической помехи. В нашем случае наблюдаемые скачки частоты генератора могут иметь фундаментальное происхождение: это могут быть косвенные проявления спектра частот УСУП, имеющих фундаментальную природу (см. ниже раздел «Обсуждение»).

Рис. 4 и 5 показывают, что между уровнем УСУП 1,037 с и наблюдаемым уровнем 0,984 с существует синхронизирующая связь, облегчающая

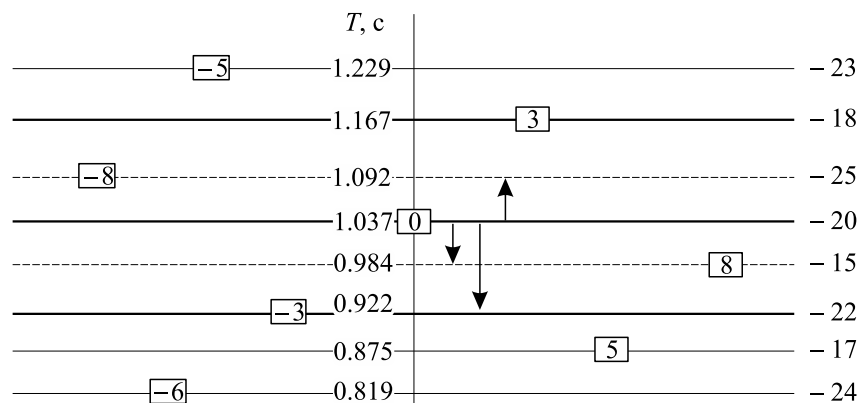


Рис. 3. Фрагмент дискретного спектра периодов УСУП $T_{k,m} = T_0 3^k / 2^m$ в окрестности периода 1 с. Колонка чисел справа — параметр k соответствующего уровня $T_{k,m}$, а в рамочках на уровнях — параметр m каждого уровня. Толщина уровней падает с ростом m , что приблизительно отражает падение важности роли уровня УСУП. Например, главный уровень на рисунке соответствует $T_{-20;0} = 1,037$ с. Стрелки показывают дискретные переходы, представленные ниже на рис. 5–7.

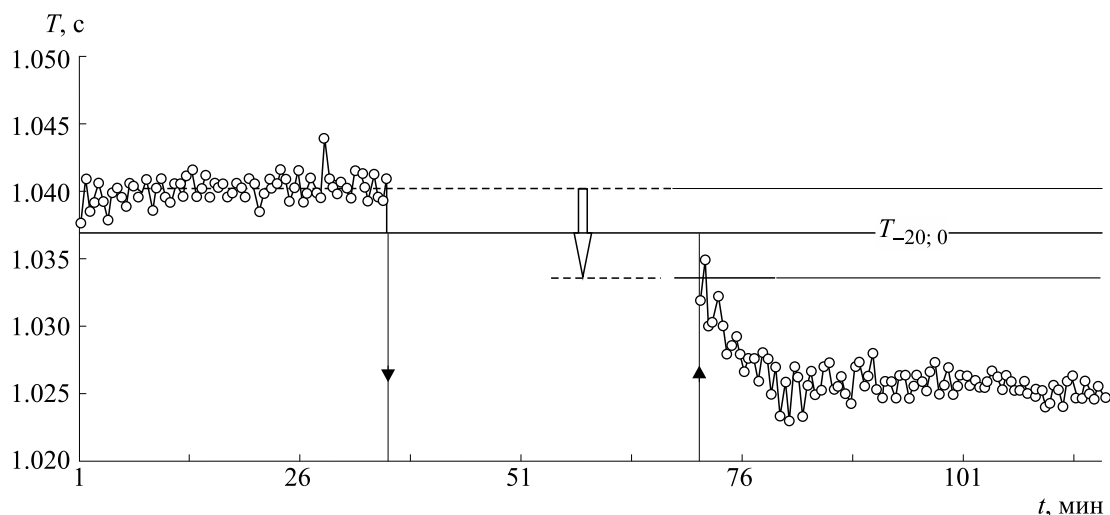


Рис. 4. Фрагмент зоны измеренных значений периода генератора в окрестности периода УСУП 1,037 с. В узкой окрестности этого периода расположена симметричная ($\pm 0,3\%$ от 1,037 с) область захвата частоты, выглядящая как зона запрещенных значений периода.

переход частоты генератора на уровень 0,984 с и обратно.

Другим, хотя не столь детально записанным переходом этого типа, выглядит наблюдавшийся скачкообразный переход с уровня 1,037 с на следующий за уровнем 0,984 с дискретный уровень УСУП — 0,922 с (рис. 6).

Наблюдался также дискретный переход с уровня 1,037 с в противоположном направлении на соседний уровень УСУП в окрестность дискретного уровня 1,092 с (рис. 7).

ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдаемые резонансы УСУП (n/ν) $2^8/3^5$ ($= 256 : 243$), $2^3/3^2$ ($= 8 : 9$) и $3^5/2^8$ ($= 243 : 256$) периода 1,037 с соответствуют языкам Арнольда, известным из теории синхронизации периодического процесса, находящегося под влиянием внешней периодической силы [15–17]. Удивляют лишь большие значения соотношений (порядков) $n : \nu$, априорно выглядящие трудно достижимыми. В свое время наблюдение существенно более грубых языков синхронизации при отношении частот внешней силы к частоте колебаний

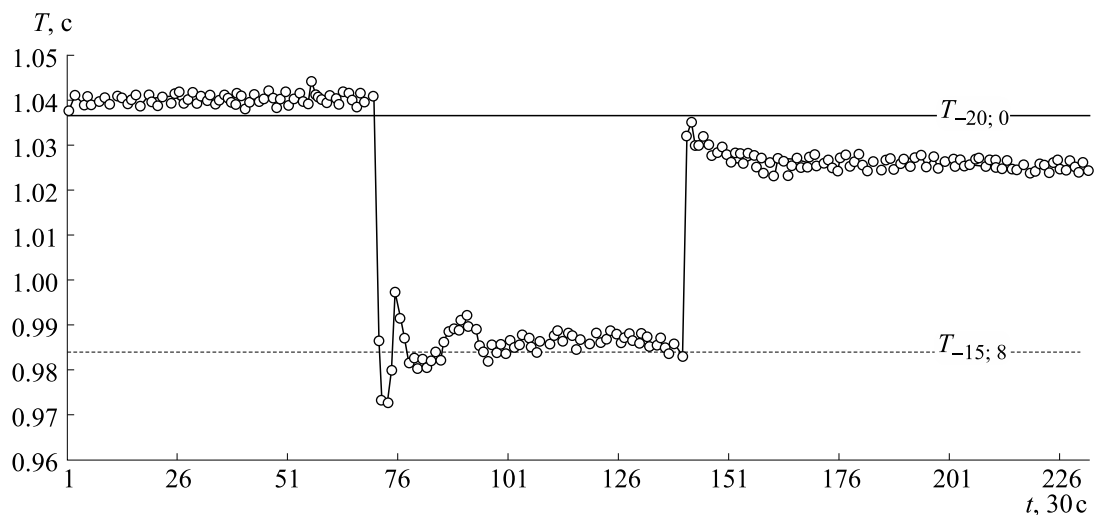


Рис. 5. Представление рис. 4 в другом масштабе. Захваченным оказался вовсе не ожидаемый (согласно рис. 2) период УСУП, равный 1,037 с (это был бы резонанс 1 : 1), а соседний дискретный уровень УСУП, составляющий 0,984 с (резонанс 243:256 периода 1,037 с). Обратный переход произошел в окрестность исходного уровня 1,037 с — ср. с рис. 4.

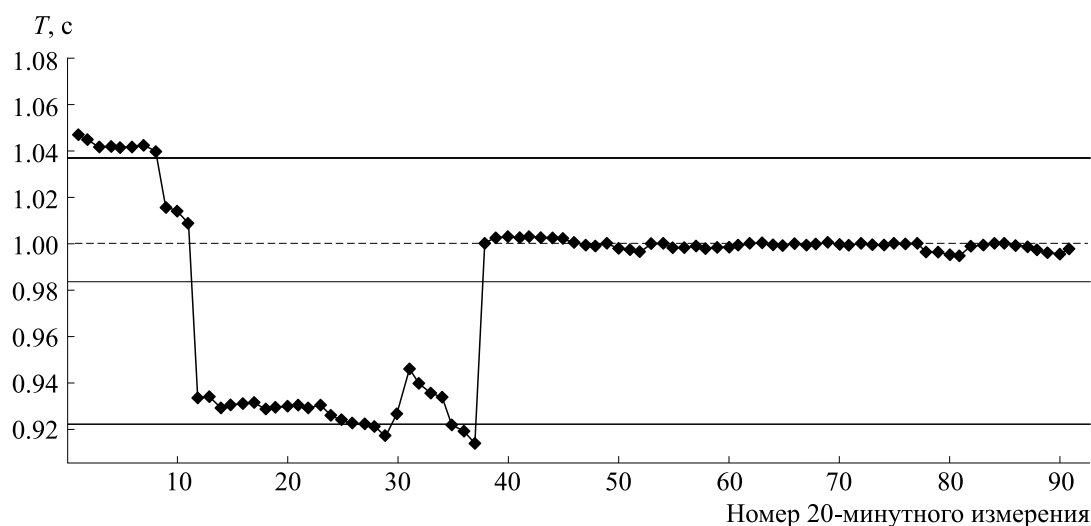


Рис. 6. Переход из окрестности уровня 1,037 с сразу в окрестность уровня 0,922 с, следующего за уровнем 0,984 с. Это резонанс $2^3/3^2$ от периода 1,037 с. Обратный переход произошел на уровень помехи технического происхождения с периодом 1 с.

яркости лазера **4/1, 3/1, 5/2, 2/1, 5/3, 3/2, 4/3, 3/4, 5/7, 2/3, 1/2, 4/7, 3/5, 5/8, 4/5** было заметным успехом в учении о синхронизации [18]. На рис. 8 приведена зависимость положений резонансов от амплитуды (ϵ) и частоты (ω) периодической помехи.

Резонансы, выделенные в списке жирным шрифтом — соотношения целочисленных степеней тройки и двойки — являются уровнями УСУП с параметром m , отличным от нуля. Наблюдаемые на представленных выше рисунках резонансы УСУП $2^8/3^5$ (1,092 с), $2^3/3^2$ (0,922 с) и $3^5/2^8$ (0,984 с) предполагают существование периода,

близкого к периоду УСУП $T_{-20;0} = 1,037$ с, т. е. они могут быть резонансами Арнольда $2^8/3^5$, $2^3/3^2$ и $3^5/2^8$ при наличии внешнего воздействия с периодом 1,037 с. Это нужно понимать как возможное свидетельство выявления нашим высокочувствительным генератором скрытого периодического процесса с периодом УСУП $T_{k,m} = T_{-20;0} = 1,037$ с.

На основании результатов работ [1–14] мы предполагаем, что периоды $T_{k,m}$ (в том числе и период 1,037 с) имеют фундаментальную природу. Эти периоды наблюдаются во всевозможных технических, астрономических, физических, гео-

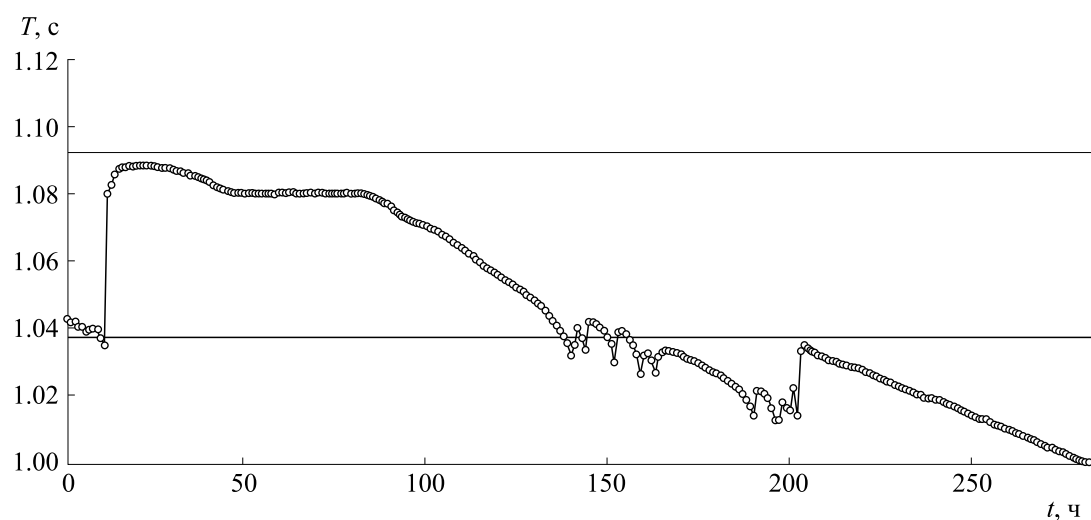


Рис. 7. Переход из окрестности уровня УСУП 1,037 с в окрестность вышестоящего уровня 1,092 с (см. рис. 3). Это резонанс $2^8/3^5$ базового периода $T_{-20;0} = 1,037$ с. Обратный переход на исходный уровень 1,037 с произошел плавно.

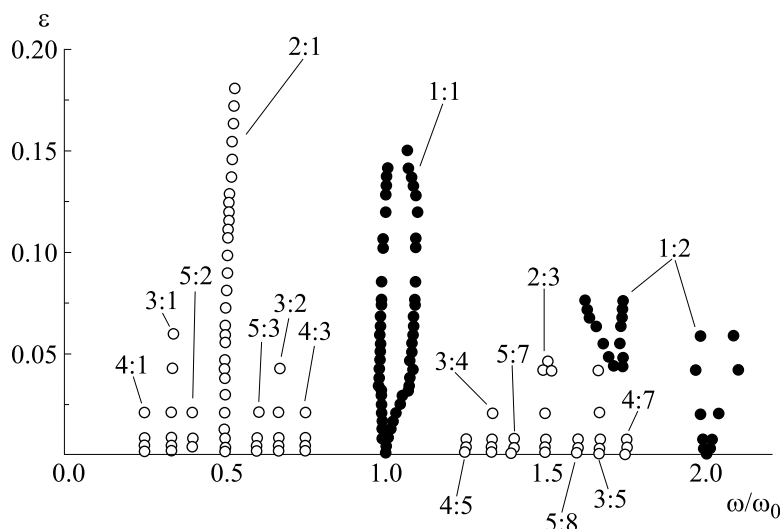


Рис. 8. Языки синхронизации для интенсивности излучения лазера частоты ω_0 под действием внешней силы с амплитудой ε и частотой ω (из работы [16]). Черными кружками показаны границы широких языков порядков 1 : 1 и 1 : 2. Языки высших порядков очень узки, в пределах точности эксперимента они выглядят как линии. Их положение помечено белыми кружками.

физических, биофизических, биологических и пр. явлениях. Хотя каждый раз это наблюдение выглядело как обнаружение УСУП, на самом деле мы наблюдали результаты подстройки 1 : 1, отражение факта существования УСУП в форме подстроенных к УСУП всевозможных периодических процессов. Отсюда происходит наблюдаемая широта проявлений этого феномена в самых различных явлениях. Однако теперь мы экспериментально наблюдаем подстройку не только порядка 1 : 1, но и другие типы подстроек.

В работах [19–21] мы описали идеализированную математическую модель, где роль УСУП играет известный фрактальный объект — треугольник Серпинского. Согласно предложенной пробной физической интерпретации этой модели, сам процесс утроения всегда происходит где-то в окрестности планковского масштаба. Каждое утроение «раздувает» треугольник Серпинского втрое, а из-за фрактальности этого объекта его вид не изменяется. Биологическим аналогом этого процесса является рост синхронной культуры клеток. Коэффициент 3^k треугольника Серпинского ($T_k = 3^k T_0$) соответствует коэффициенту 2^k культуры клеток — массе биологического материала ($M_k = 2^k M_0$), накопленного после k -го шага итерации, происходящей на уровне клеток. Здесь M_0 — масса клетки. Как было бы в идеальном биологическом аналоге (где все клетки тождественные), в растущем треугольнике Серпинского происходят синхронные мутации [10,12,19]. Они каждый раз приводят к наблюдению измененного — удвоенного или уполовиненного — периода

УСУП; так появляется модуль параметра m — количество мутаций, а вместе с ним появляется и формула УСУП для периодов $T_{k,m} = T_0 3^k / 2^m$. В биологическом аналоге такая мутация представляет собой пропущенное или вставочное удвоение количества клеток.

Для более подробного выяснения соотношений между нетривиальными периодами УСУП и сейчас уже относительно тривиальным спектром языков Арнольда потребуются существенно более богатый экспериментальный материал. Он продолжает накапливаться нами в опытах с генераторами периодических колебаний, зондирующими спектр частот универсальной системы утраивающихся периодов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая работа не содержит описания каких-либо исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S. J. Puetz, A. Prokoph, G. Borchardt, et al., *Chaos, Solitons & Fractals* **62–63**, 55 (2014).
2. А. Т. Бондарь, М. В. Федоров и В. А. Коломбет, *Биофизика* **60** (6), 1208 (2015).
3. В. А. Коломбет, В. Н. Лесных, Е. В. Коломбет и др., *Биофизика* **61** (3), 615 (2016).

4. В. А. Коломбет, В. Н. Лесных и Е. В. Коломбет, Изв. Института инженерной физики **39** (1), 8 (2016).
5. В. А. Коломбет, Е. В. Коломбет и В. Н. Лесных, Изв. Института инженерной физики **40** (2), 55 (2016).
6. H. Muller, Progr. Physics **5** (2), 72 (2009).
7. H. Müller. Progr. Physics **14** (1), 41 (2018).
8. Н. В. Хундерякова, А. В. Захарченко, М. В. Захарченко и др., Биофизика **60** (6), 1104 (2015).
9. В. А. Коломбет, в сб. *Материалы всероссийской конференции «Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях»* (Изд. ИПФ, Нижний Новгород, 2017).
10. В. А. Коломбет, В. Ю. Архипов, А. В. Елистратов и др., Изв. Института инженерной физики **48** (2), 56 (2018).
11. В. А. Коломбет, В. Н. Лесных и Е. В. Коломбет, Изв. Института инженерной физики **46** (4), 18 (2017).
12. В. А. Коломбет, В. Н. Лесных и А. Т. Бондарь, Изв. Института инженерной физики **47** (4), 63 (2018).
13. В. А. Коломбет, В. Н. Лесных и Е. В. Коломбет, Изв. Института инженерной физики **49** (3), 88 (2018).
14. В. А. Коломбет, В. Н. Лесных, А. В. Елистратов и др., Биофизика **64** (2), 396 (2019).
15. А. А. Андронов, А. А. Витт и С. Э. Хайкин, *Теория колебаний* (Физматлит, М., 1959).
16. Н. Н. Баутин, *Динамическая теория часов. Стабилизация периода в системах с двумя степенями свободы* (Наука, М., 1986).
17. Г. В. Осипов и А. В. Половинкин, *Синхронизация внешним периодическим воздействием*. (Изд. ИПФ, Нижний Новгород, 2005).
18. А. Пиковский, М. Розенблум и Ю. Куртс, *Синхронизация: фундаментальное нелинейное явление*. (Техносфера, М., 2003).
19. В. А. Коломбет, В. Н. Лесных и Е. В. Коломбет, Изв. Института инженерной физики **50** (4), 62 (2018).

Identifying Discrete States of the Universal Period-Tripling System, while Varying the Frequency of the Generator of Periodic Oscillations

V.A. Kolombet, V.N. Lesnykh, and S.E. Shnoll

*Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences,
Institutskaya ul. 3, Pushchino, Moscow Region, 142290 Russia*

A conventional oscillator can be used as an amplifier of periodic noise. During an experiment, we observed sudden changes in the frequency of the generator which corresponded to the so-called Arnold tongues. It is well known that the latter is seen in the region where synchronization of a periodic process occurs at a constant external forcing. The results of our experiments should be considered a proof of the existence of this forcing: the dependence of the frequency of the generator on the periodic process. This hidden periodic process belongs to the so-called universal period-tripling system. This system has repeatedly manifested itself on an indirect basis: by adjusting to it a variety of technical, astronomical, physical, geophysical, biological, etc. events which are periodic in nature. The existence of the universal period-tripling system should be taken into account, in particular, in the design and debug process of technical devices, including, as we have already shown, those with a medical purpose.

Keywords: generator of periodic oscillations, period-tripling system