

12

## Эффект синхронизации внешним электрическим полем частоты сердцебиений дафнии

© Д.А. Усанов, Ал.В. Скрипаль, Ан.В. Скрипаль

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

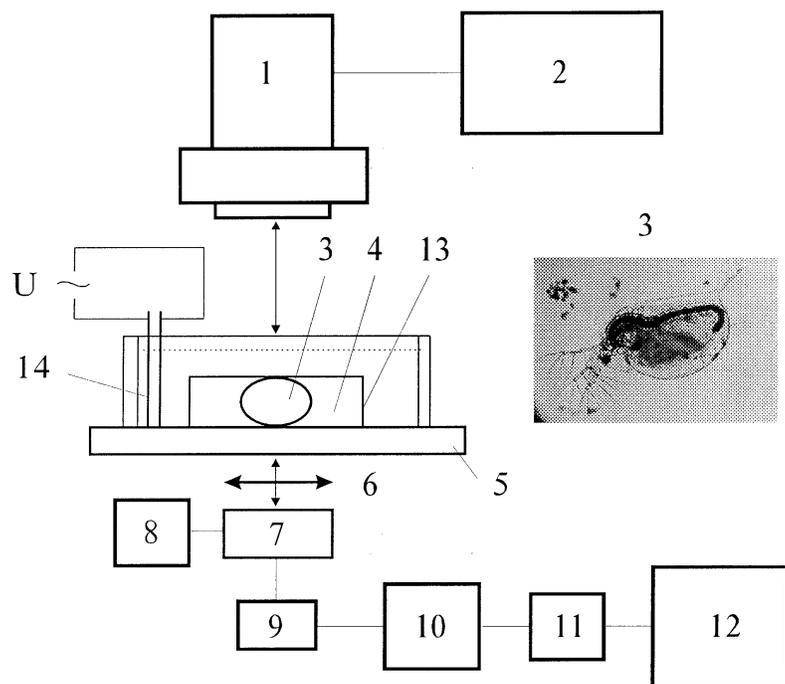
Поступило в Редакцию 13 августа 1998 г.

Проведены экспериментальные исследования влияния внешнего переменного напряжения на амплитуду и частоту сердцебиений пресноводного рачка дафнии. Обнаружен эффект синхронизации частоты сердцебиений дафнии внешним электрическим полем.

В радиоэлектронике хорошо известно и широко используется на практике явление синхронизации и затягивания частоты генератора внешним сигналом. Можно предположить, что подобный механизм влияния внешнего сигнала должен наблюдаться и для генераторов другой природы. Своего рода генератором (автоколебательной системой) можно считать сердце биообъектов. Наибольший интерес представляет изучение воздействия внешнего сигнала на биообъекты, которые используются как тестовые при экологических исследованиях. К таким биообъектам относятся, в частности, дафнии, способ исследования амплитуды и частоты сердцебиения которых подробно описан в работе [1].

Нами проведены исследования влияния внешнего электрического поля на частоту и амплитуду биений сердца дафнии как в режиме частот, близких к частоте биений сердца, так и при значительном отклонении частоты внешнего воздействия от частоты нормального сердцебиения.

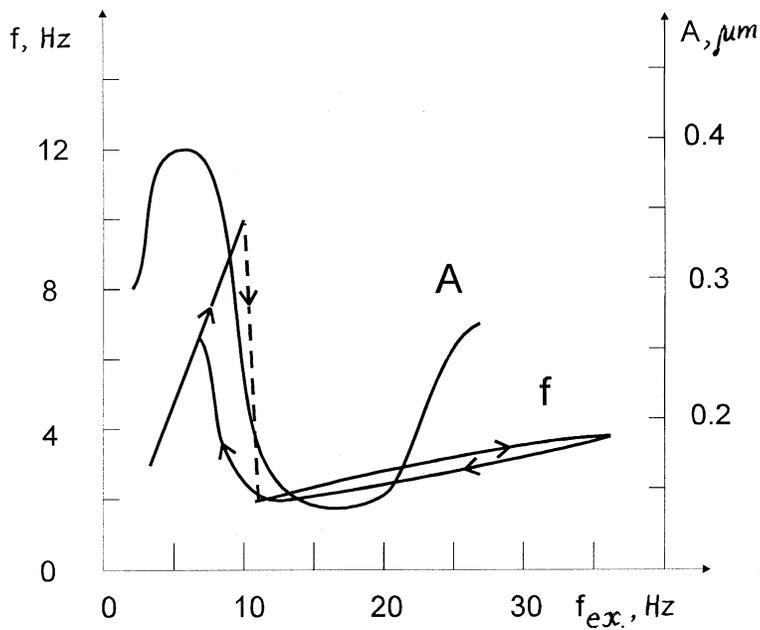
Экспериментальные исследования проводились на установке, схема которой приведена на рис. 1. Излучение полупроводникового лазера 7 (ИЛПН-206), стабилизированного источником тока 8, фокусировалось линзой 6 в область сердца дафнии 3, помещенной в канал 4 на прозрачном столике 5. В стакан 13 заливалась водная среда обитания дафний, в которую опускались электроды 14, соединенные с источником напряжения  $U$ . Для визуализации инфракрасного излучения полупроводникового лазера и его фокусировки в область сердца исполь-



**Рис. 1.** Схема установки для исследования влияния внешнего электрического поля на частоту и амплитуду биений сердца дафнии.

зовался прибор ночного видения 1. Часть излучения, отраженного от сердца дафнии, возвращалась в резонатор полупроводникового лазера, изменение выходной мощности которого регистрировалось фотодетектором 9 [2]. Сигнал с фотодетектора поступал через усилитель 10 и аналого-цифровой преобразователь 11 в компьютер 12. Амплитуда и частота сердцебиений дафнии определялась аналогично тому, как это было описано в [1].

Пресноводные рачки дафнии (*Daphnia magna* Straus) культивировались в стандартных лабораторных условиях. В экспериментах использовали особей размерами 0.7–1.5 mm. Одиночную дафнию из аквариумной культуры перемещали в камеру, ограничивающую ее движения. Камеру фиксировали на предметном столике микроскопа. Оптическая система

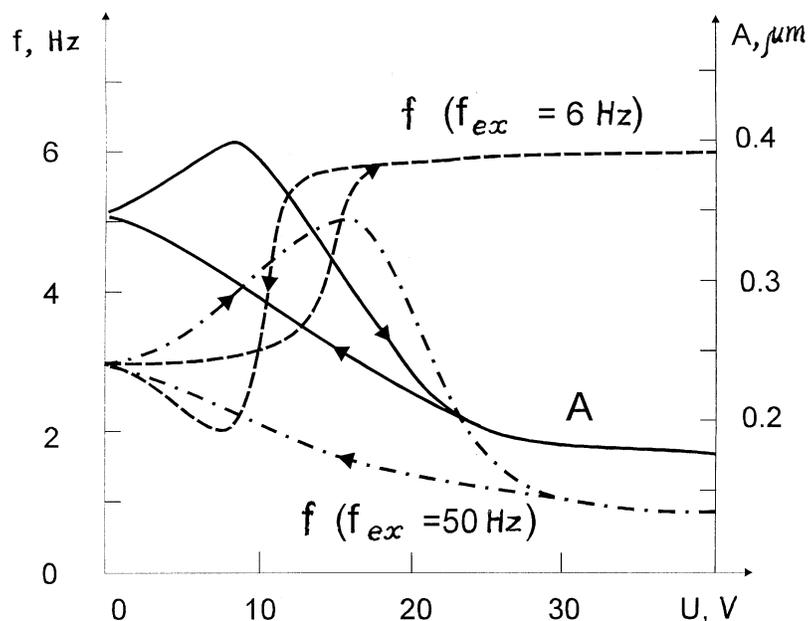


**Рис. 2.** Зависимость частоты и амплитуды биений сердца дафнии от частоты внешнего периодического воздействия: стрелками указано направление изменения частоты воздействия.

наводилась на сердце, а аппаратура настраивалась на максимальный сигнал.

В эксперименте в качестве внешнего возмущающего воздействия использовалось переменное электрическое поле различной амплитуды и частоты. Влияние этого воздействия на работу сердца дафнии оценивалось по изменению амплитуды и частоты ее сердцебиений.

В результате экспериментов было установлено, что воздействие переменного электрического напряжения вызывает синхронизацию сердцебиений с частотой этого напряжения. На рис. 2 приведены зависимости частоты  $f$  и амплитуды  $A$  биений сердца дафнии от частоты периодического воздействия при амплитуде внешнего напряжения  $U = 10$  V. Как следует из результатов, представленных на рис. 2, режим синхронизации наблюдается в диапазоне частот  $3 \div 10$  Hz внешнего



**Рис. 3.** Зависимость частоты и амплитуды биений сердца дафнии от амплитуды внешнего периодического воздействия: стрелками указано направление изменения амплитуды воздействия.

напряжения, при котором частота сердцебиений в точности совпадает с увеличивающейся частотой внешнего сигнала. При  $f_{ex} > 11 \text{ Hz}$  режим синхронизации нарушается, частота и амплитуда биений сердца дафнии резко уменьшаются, а затем вновь начинают увеличиваться с ростом  $f_{ex}$ . При уменьшении частоты внешнего сигнала зависимость  $f$  от  $f_{ex}$  до  $f_{ex} = 7 \text{ Hz}$  шла по другой траектории, т.е. наблюдается своеобразный гистерезисный характер этой зависимости. Начиная с частоты  $7 \text{ Hz}$  частота биений сердца дафнии и частота внешнего воздействия вновь совпадали.

На рис. 3 приведены зависимости частоты и амплитуды биений сердца дафнии от амплитуды внешнего периодического воздействия. При отсутствии внешнего воздействия амплитуда и частота сердцебиения дафнии в условиях эксперимента составляли соответственно  $0.35 \mu\text{m}$

и 3 Hz. Как следует из результатов, представленных на рис. 3, воздействие внешнего переменного напряжения на частоту сердцебиений дафнии носило пороговый характер. При частоте внешнего сигнала 6 Hz увеличение напряжения от нуля до некоторого порогового значения  $U = 8 \text{ V}$  не приводило к заметному изменению частоты сердцебиения. Дальнейшее увеличение  $U > 8 \text{ V}$  вызывало быстрый рост частоты сердцебиения, вплоть до совпадения с частотой внешнего периодического сигнала при напряжении  $U > 16 \text{ V}$ . То есть наблюдались захват и синхронизация частоты сердцебиений дафнии с частотой внешнего переменного напряжения.

При уменьшении амплитуды внешнего воздействия режим синхронизации поддерживался и в диапазоне напряжений  $12 \text{ V} < U < 16 \text{ V}$ . Зависимость  $f$  от  $U_{ex}$  также носила гистерезисный характер.

Несколько иной характер зависимости частоты биений сердца дафнии наблюдался при воздействии на нее внешним сигналом на частоте 50 Hz. С ростом амплитуды напряжения от 0 до 16 V наблюдалось увеличение частоты сердцебиений дафнии, однако синхронизация колебаний внешним переменным напряжением не наступало. В максимуме кривой  $f(U)$  величина  $f$  составляла 5 Hz. Дальнейшее увеличение амплитуды внешнего воздействия  $U > 16 \text{ V}$  приводило к уменьшению частоты биений сердца дафнии до значений, существенно меньших, чем при отсутствии внешнего напряжения. При уменьшении переменного напряжения от значений больших, чем  $40 \div 48 \text{ V}$ , наблюдалось монотонное увеличение частоты сердцебиений от 1 до 3 Hz. На зависимости амплитуды биений сердца дафнии от переменного напряжения наблюдается максимум при  $U \approx 8 \text{ V}$ . Дальнейшее увеличение  $U$  приводило к монотонному уменьшению амплитуды биений сердца дафнии. Зависимость также носила гистерезисный характер.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о существовании эффекта синхронизации частоты сердцебиений дафнии внешним электрическим полем.

## Список литературы

- [1] Усанов Д.А., Скрипаль Ал.В., Вагарин А.Ю., Скрипаль Ан.В., Потапов В.В., Шмакова Т.Т., Мосияш С.С. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 5. С. 39–43.
- [2] Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Калинин М.Ю. // Изв. вузов "Прикладная нелинейная динамика". 1998. Т. 6. № 1. С. 3–9.