



СИНХРОНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗА ДАФНИИ ВНЕШНИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

А.В. Скрипаль, А.Д. Усанов

Приведены результаты исследований явления синхронизации движений глаза пресноводного рачка дафнии внешним электрическим полем. Момент возникновения синхронизации проявлялся в том, что базовая частота колебаний глаза дафнии захватывалась частотой внешнего электрического сигнала. Исследована зависимость амплитуды переменного электрического напряжения, при котором наблюдался эффект синхронизации глаза дафнии, от состава водной среды, в которую дафния помещалась.

Явление синхронизации, хорошо известное в радиоэлектронике [1–3], наблюдалось также и у биологических объектов, в частности, с помощью генератора электрических сигналов удалось синхронизировать частоту биений сердца пресноводного рачка дафнии в диапазоне частот от 3 до 10 Гц при амплитудах внешнего электрического сигнала от 8 до 40 В [4].

Представляет интерес исследование возможности наблюдения эффекта синхронизации других органов биологических объектов, совершающих менее регулярные колебания. Таким объектом, например, является орган зрения пресноводного рачка дафнии, представляющий собой сложный непарный глаз [5], расположенный в передней части головы и обладающий значительными размерами и подвижностью (рис. 1). Последнее обусловлено тем, что к глазу прикрепляются специальные глазные мышцы (рис. 2). В результате сокращения этих мышц глаз совершает ротационные колебательные движения, обусловленные различной частотой сокращения глазных мышц. При нормальных условиях глаз дафнии совершает колебания в диапазоне частот $6 \div 15$ Гц, причем отдельные гармоники колебаний глаза совпадают с частотой сердцебиения.

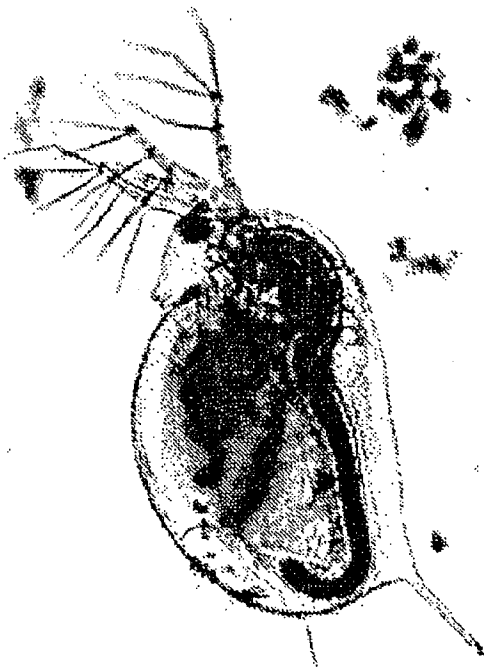


Рис. 1. Внешний вид пресноводного рачка *Daphnia magna* Straus

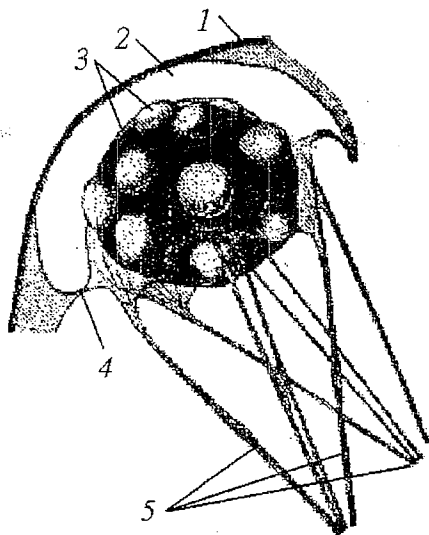


Рис. 2. Строение сложного непарного глаза: 1 – хитиновая кутикула, 2 – камера, окружающая глаз, 3 – хрустальные конусы омматидиев, 4 – лигаменты, на которых подвешен глаз, 5 – мышцы глаза

в стандартных лабораторных условиях. В экспериментах использовали особей размерами 0.7÷1.5 мм. Одиночную дафнию из аквариумной культуры перемещали в камеру, ограничивающую ее движения. Камеру фиксировали на предметном столике микроскопа.

В эксперименте использовалось переменное электрическое поле различной амплитуды и частоты. Момент возникновения явления синхронизации проявлялся в том, что основная гармоника колебаний глаза дафнии захватывалась частотой внешнего электрического сигнала, причем остальные гармоники движения глаза значительно подавлялись. Возникновение явления синхронизации наблюдалось

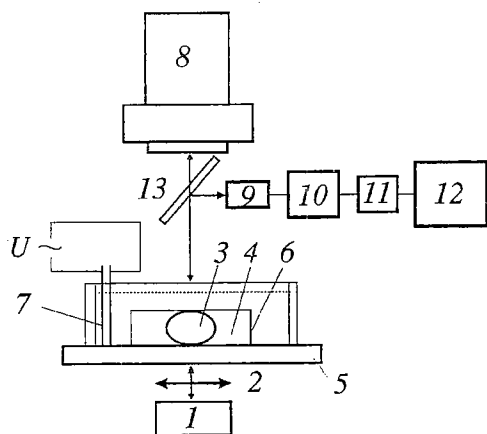


Рис. 3. Схема установки для проведения измерений: 1 – источник света, 2 – линза, 3 – дафния, 4 – канал для фиксирования дафнии, 5 – прозрачный столик, 6 – стакан с водной средой обитания дафний, 7 – электроды, 8 – микроскоп, 9 – фотодетектор, 10 – усилитель, 11 – аналого-цифровой преобразователь, 12 – компьютер, 13 – светоделительная пластинка

Экспериментальные исследования проводились на установке, схема которой приведена на рис. 3. Излучение источника света 1 фокусировалось линзой 2 в область глаза дафнии 3, помещенной в канал 4 на прозрачном столике 5. В стакан 6 заливалась водная среда обитания дафний, в которую опускались электроды 7, соединенные с источником напряжения U . Для фиксации момента захвата частоты колебаний глаза дафнии частотой внешнего электрического сигнала использовался микроскоп 8. Часть излучения, отраженная от светоделительной пластинки 13, направлялась на фотодетектор 9. Сигнал с фотодетектора поступал через усилитель 10 и аналого-цифровой преобразователь 11 в компьютер 12. После регистрации осциллограммы колебаний глаза дафнии вычислялся спектр протектированного сигнала с помощью метода быстрого преобразования Фурье.

Пресноводные рачки дафнии (*Daphnia magna* Straus) культивировались в стандартных лабораторных условиях. В экспериментах использовали особей размерами 0.7÷1.5 мм. Одиночную дафнию из аквариумной культуры перемещали в камеру, ограничивающую ее движения. Камеру фиксировали на предметном столике микроскопа. В эксперименте использовалось переменное электрическое поле различной амплитуды и частоты. Момент возникновения явления синхронизации проявлялся в том, что основная гармоника колебаний глаза дафнии захватывалась частотой внешнего электрического сигнала, причем остальные гармоники движения глаза значительно подавлялись. Возникновение явления синхронизации наблюдалось нами в диапазоне амплитуд воздействующего сигнала 5÷7 В. Существование порогового характера проявления эффекта синхронизации в зависимости от амплитуды воздействующего сигнала может быть, например, связано и с пороговой чувствительностью механической функции (движений глаза) к внешнему электрическому воздействию. Такой пороговой чувствительностью к внешнему электрическому воздействию обладают биологические мембраны [6]. При этом механизм преобразования электрического поля в механическую форму движений органов биологических объектов до настоящего времени не ясен.

На рис. 4 приведены осциллограммы движений глаза дафнии и их спектры, полученные для случая собственных движений глаза (рис. 4, а) и при возникновении явления синхронизации (рис. 4, б). Как видно из рис. 4, а, в спектре сигнала выделяются гармоники с частотами 4.5 Гц, 9 Гц,

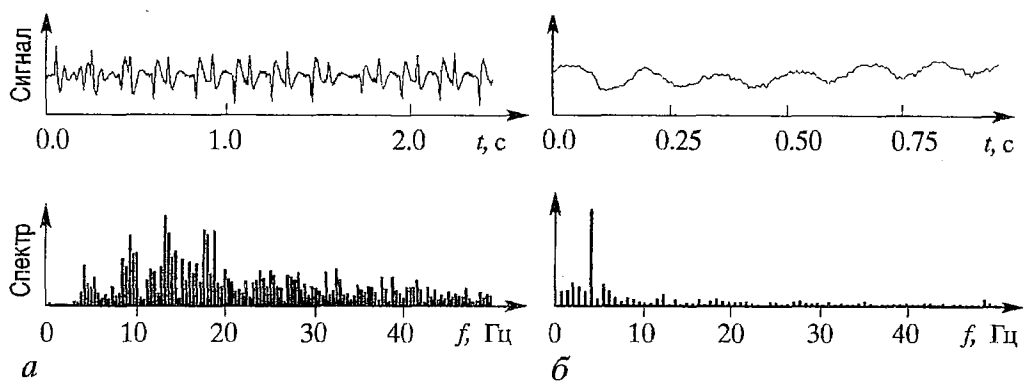


Рис. 4. Осциллограммы движений глаза дафнии и их спектры: *а* – для собственных движений глаза, *б* – при возникновении явления синхронизации

13 Гц и 18 Гц, причем максимальной амплитудой обладает гармоника с частотой 13 Гц. При возникновении явления синхронизации, как видно из рис. 4, *б*, характер движения глаза становится близким к гармоническому (с частотой синхросигнала, равной 8 Гц) с небольшой модуляционной составляющей, обусловленной, по-видимому, тремором.

Была обнаружена зависимость амплитуды колебаний глаза дафнии от частоты приложенного электрического поля при фиксированной амплитуде синхронизирующего сигнала. На рис. 5 приведены результаты измерений зависимости амплитуды колебаний глаза дафнии от частоты приложенного синхронизирующего электрического сигнала фиксированной амплитуды, равной 7 В.

Как следует из рис. 5, амплитуда колебаний глаза дафнии в режиме синхронизации имеет максимальное практически неизменное значение в диапазоне частот, приблизительно равном 4–15 Гц. В диапазоне частот приблизительно до 2 Гц и выше 20 Гц наблюдался срыв режима синхронизации колебаний глаза.

Нами была исследована также зависимость амплитуды переменного электрического напряжения, при котором наблюдался эффект синхронизации глаза дафнии, от состава водной среды, в которую дафния помещалась. Состав водной среды изменялся путем добавления фенола различной концентрации от 1 до 10 мг/л. На рис. 6 приведена зависимость величины напряжения синхронизации частоты колебаний глаза дафнии от концентрации фенола в водной среде.

Как следует из результатов, приведенных на рис. 6, при увеличении концентрации фенола N уменьшалась величина напряжения U , при котором происходила синхронизация частоты колебаний глаза дафнии частотой внешнего сигнала. Обнаруженная закономерность уменьшения напряжения синхронизации может являться свидетельством ухудшения жизненных показателей дафний, подверженных воздействию растворенных в воде токсикантов.

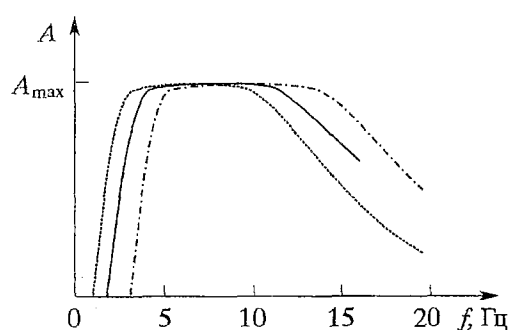


Рис. 5. Зависимости амплитуды колебаний глаза дафнии от частоты приложенного синхронизирующего электрического сигнала фиксированной амплитуды, равной 7 В, для трех особей (обозначены тремя типами линий)

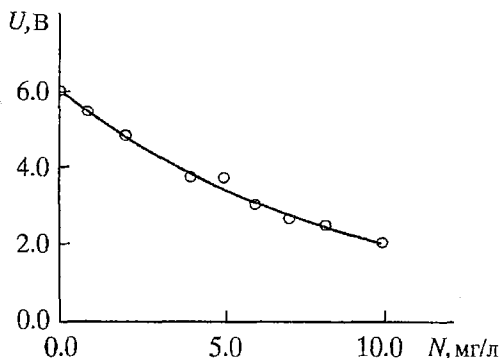


Рис. 6. Зависимость величины приложенного напряжения, при котором возникало явление синхронизации частоты колебаний глаза дафнии, от концентрации фенола в водной среде

Полученные результаты могут быть полезны для понимания результатов воздействия электромагнитных полей на колебательные процессы различных жизненных органов биообъектов.

Библиографический список

1. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984. 432 с.
2. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, 1987.
3. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Астахов В.В. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем. Фундаментальные основы и избранные проблемы. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1999. 368 с.
4. Усанов Д.А., Скрипаль Ал.В., Скрипаль Ан.В. Эффект синхронизации внешним электрическим полем частоты сердцебиений дафнии // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25, вып.4. С. 74.
5. Иванов А.В., Мончадский, А.С., Полянский Ю.И., Стрелков А.А. Большой практикум по зоологии беспозвоночных. Типы: Кольчатые черви. Членистоногие. Ч.2. М.: Высш. школа, 1983. 543 с.
6. Бреслер С.Е. Биофизика мембран // Проблемы современной физики / Под ред. А.П. Александрова. Л.: Наука, 1980. С. 535.

Саратовский государственный
университет

Поступила в редакцию 26.02.2000

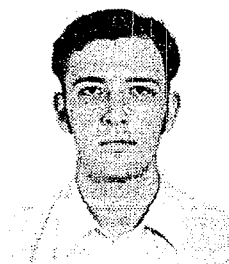
SYNCHRONIZATION OF THE EYE MOVEMENTS OF DAPHNIA BY EXTERNAL ELECTRIC FIELD

A.V. Skripal, A.D. Usanov

The investigation results of eye movement synchronization of daphnia freshwater crayfish by external electrical fields have been presented. Moment of the synchronization appearance was associated with the capture of fundamental frequency of daphnia eye oscillations by the frequency of external electrical signal. Dependence of magnification of alternating electrical voltage for which synchronization effect of daphnia eye was observed, on composition of water environment in which daphnia was placed, has been investigated.



Скрипаль Анатолий Владимирович родился в 1960 году в Саратове. Окончил физический факультет Саратовского государственного университета (1982). С 1998 года доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела Саратовского государственного университета. Автор более 100 научных трудов в области когерентной оптики, лазерной физики, вибродиагностики, биофизики.



Усанов Андрей Дмитриевич – родился в Саратове (1978). Окончил Первую ступень Колледжа прикладных наук при Саратовском государственном университете (1997). Область научных интересов – биофизика, физика полупроводников.