

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» в г. Таганроге

Душенин Денис Юрьевич

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ ЭЭГ НА ОСНОВЕ МЕЗОСКОПИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОЗГОВЫХ НЕЙРОНОВ



Научный руководитель
д-р техн. наук А.А. Колесников

Таганрог - 2011

Мезоскопическая модель электрической активности мозга

[Mark A. Kramer, Andrew J. Szeri, James W. Sleight. Mechanisms of seizure propagation in a cortical model // Journal of Computational Neuroscience, 2007. - V. 22. - No 1. – Pp. 63-80]

$$\frac{\partial h_e}{\partial t} = 1 - h_e + \Gamma_e (h_e^0 - h_e) I_{ee} + \Gamma_i (h_i^0 - h_e) I_{ie} \quad (1)$$

$$\left(\frac{1}{T_e} \frac{\partial}{\partial t} + 1\right)^2 I_{ee} = N_e^\beta S_e[h_e] + \phi_e + P_{ee} + \Gamma_1 \quad (3)$$

$$\left(\frac{1}{T_i} \frac{\partial}{\partial t} + 1\right)^2 I_{ii} = N_i^\beta S_i[h_i] + P_{ii} + \Gamma_4 \quad (5)$$

$$\left(\frac{1}{\lambda_i} \frac{\partial}{\partial t} + 1\right)^2 \phi_i = \frac{1}{\lambda_i^2} \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} + \left(\frac{1}{\lambda_i} \frac{\partial}{\partial t} + 1\right) N_i^\alpha S_e[h_e] \quad (7)$$

$$\frac{\partial h_i}{\partial t} = 1 - h_i + \Gamma_e (h_e^0 - h_i) I_{ei} + \Gamma_i (h_i^0 - h_i) I_{ii} \quad (2)$$

$$\left(\frac{1}{T_e} \frac{\partial}{\partial t} + 1\right)^2 I_{ei} = N_e^\beta S_e[h_e] + \phi_i + P_{ei} + \Gamma_2 \quad (4)$$

$$\left(\frac{1}{T_i} \frac{\partial}{\partial t} + 1\right)^2 I_{ie} = N_i^\beta S_i[h_i] + P_{ie} + \Gamma_3 \quad (6)$$

$$\left(\frac{1}{\lambda_e} \frac{\partial}{\partial t} + 1\right)^2 \phi_e = \frac{1}{\lambda_e^2} \frac{\partial^2 \phi_e}{\partial x^2} + \left(\frac{1}{\lambda_e} \frac{\partial}{\partial t} + 1\right) N_e^\alpha S_e[h_e] \quad (8)$$

Мезоскопическая модель электрической активности мозга

Переменные для безразмерной модели

Символ	Формула	Описание
$h_{e,i}$	$h_{e,i}/h^{rest}$	Мембранный потенциал
$I_{ee,ie}$	$I_{ee,ie} v_e / (G_e \exp(1) S_{max})$	Входные токи для клеток возбуждения
$I_{ei,ii}$	$I_{ei,ii} v_i / (G_i \exp(1) S_{max})$	Входные токи для клеток торможения
$\phi_{e,i}$	$\phi_{e,i} / S_{max}$	Мощность сигнала
t	t/τ	Время
x	$x/(\tau v)$	Координата

Мезоскопическая модель электрической активности мозга

Константы для безразмерной модели

Символ	Формула	Описание	Диапазон значений
e, i		Индексы, обозначающие нейроны возбуждения (e) или торможения (i)	
$\Gamma_{e,i}$	$G_{e,i} \exp(1) S_{max} / \gamma_{e,i} / h_{e,i}^{rev} - h^{rest}$	Влияние мощности на значение мембранного потенциала	$1,42 \cdot 10^{-3} - 0,0774$
$h_{e,i}^0$	$h_{e,i}^{rev} / h^{rest}$	Обратный потенциал	$-0,643 - 1,29$
$T_{e,i}$	$T \gamma_{e,i}$	Константа	$12,0 - 2,6$
$\lambda_{e,i}$	$\tau \nu A_{ee,ei}$	Безразмерная характеристика в инверсной шкале	$11,2 - 18,2$
$P_{ee,ie}$	$P_{ee,ie} / S_{max}$	Подкорковый потенциал возбуждения	$11,0 - 16,0$
$P_{ei,ii}$	$P_{ei,ii} / S_{max}$	Подкорковый потенциал торможения	$16,0 - 11,0$
$N_{e,i}^{\alpha}$	-	Общее число синаптических окончаний от клеток возбуждения	$4000 - 2000$
$N_{e,i}^{\beta}$	-	Общее число местных синаптических окончаний e и i	$3034 - 536$
$g_{e,i}$	$g_{e,i} h^{rest}$	Сигмоидальный наклон в точке сгиба	$-19,6 - -9,8$
$\theta_{e,i}$	$\theta_{e,i} / h^{rest}$	Точка изгиба сигмоидальной функции	$0,857 - 0,857$

Мезоскопическая модель электрической активности мозга

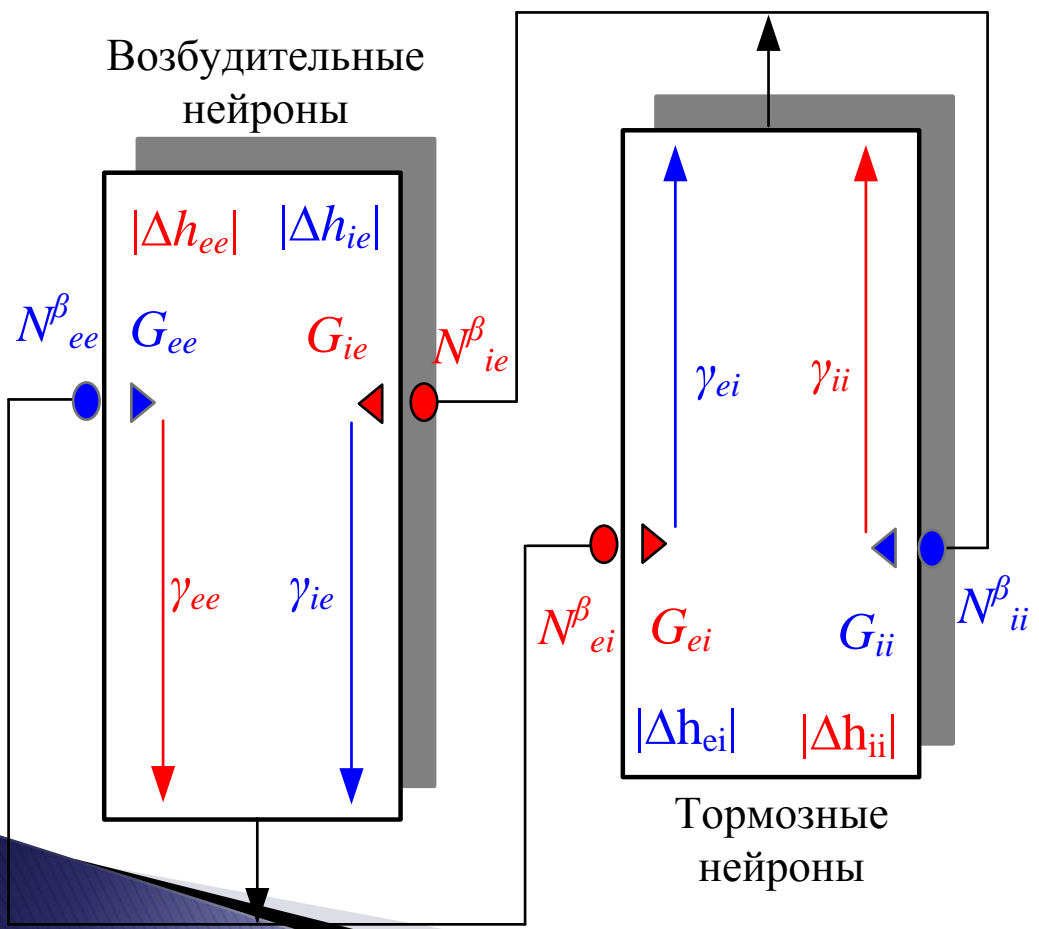




Схема взаимосвязи между нейронными популяциями и физиологическими параметрами. Кружки – синапсы, треугольники – пиковые амплитуды постсинаптических потенциалов, вертикальные стрелки – константы.

 - увеличение параметра для моделирования приступа

 - уменьшение параметра для моделирования приступа

Мезоскопическая модель электрической активности мозга

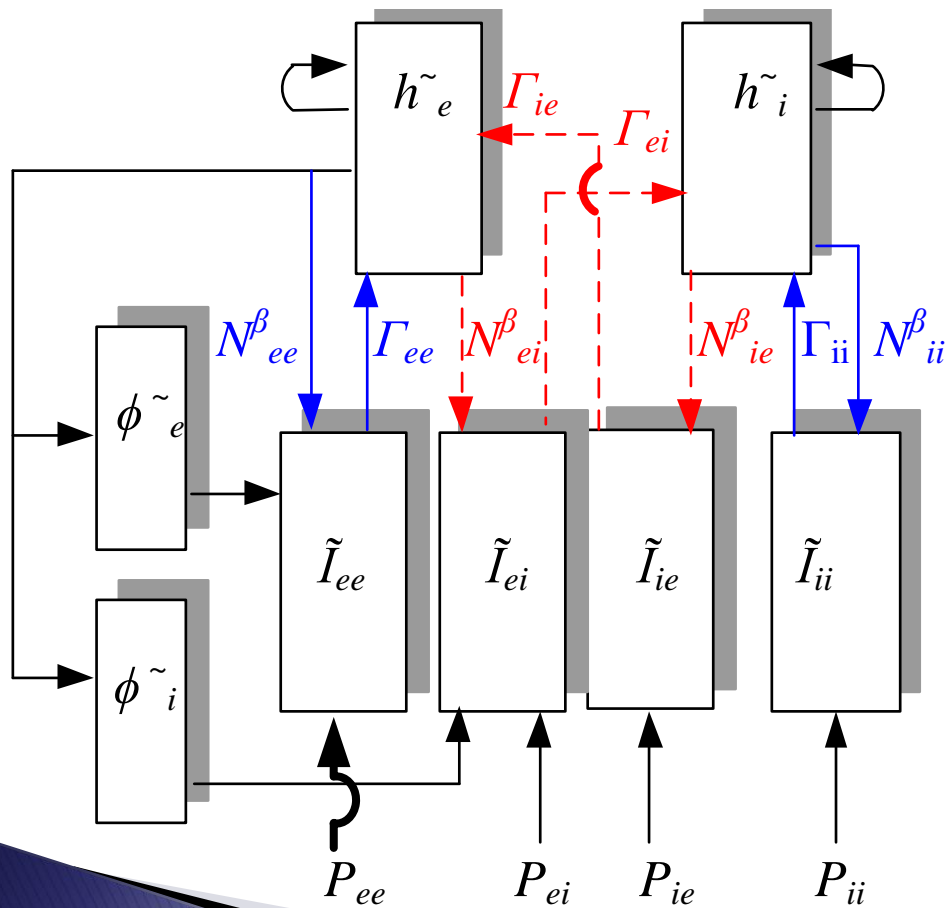


Схема связей между безразмерными переменными ($h\tilde{e}$, $h\tilde{i}$, Γ_{ee} , Γ_{ei} , Γ_{ie} , Γ_{ii} , $\phi\tilde{e}$, $\phi\tilde{i}$) и подкорковыми потенциалами (P_{ee} , P_{ei} , P_{ie} , P_{ii}) в модели. Жирной стрелкой показано увеличение P_{ee} .



- увеличение параметра для моделирования приступа



- уменьшение параметра для моделирования приступа

Анализ модели ЭЭГ во временной и частотной областях

- ▶ Три состояния: до приступа, приступ, после приступа
- ▶ Два параметра: P_{ee} – подкорковый потенциал возбуждения
 Γ_e – параметр, описывающий влияние мощности на значение потенциала

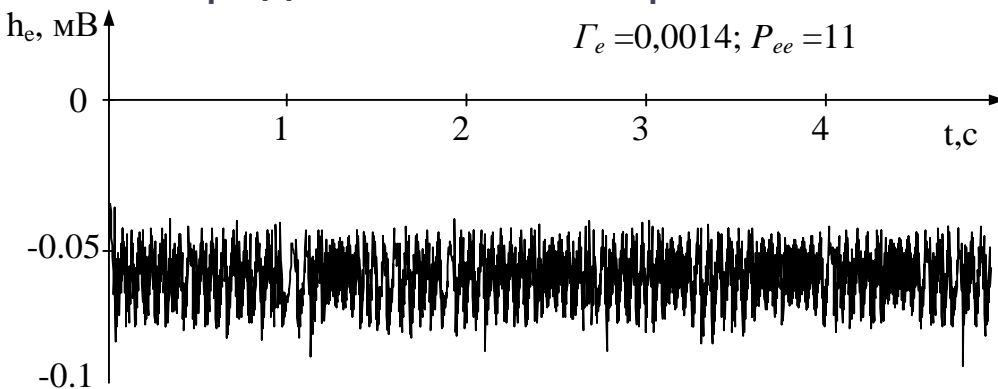
Таблица диапазонов значений

	До приступа			Приступ		После приступа
P_{ee}	11	439	439	439	439	1000
Γ_e	0,0014	0,001232	0,00098	0,00097	0,0008	0,0008

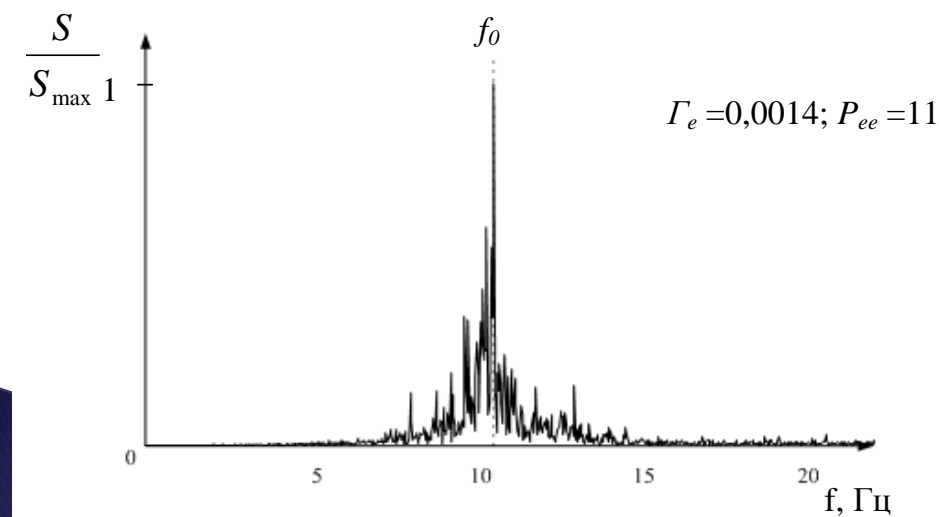
Реконструкция фазового пространства

Состояние до эпилептического приступа

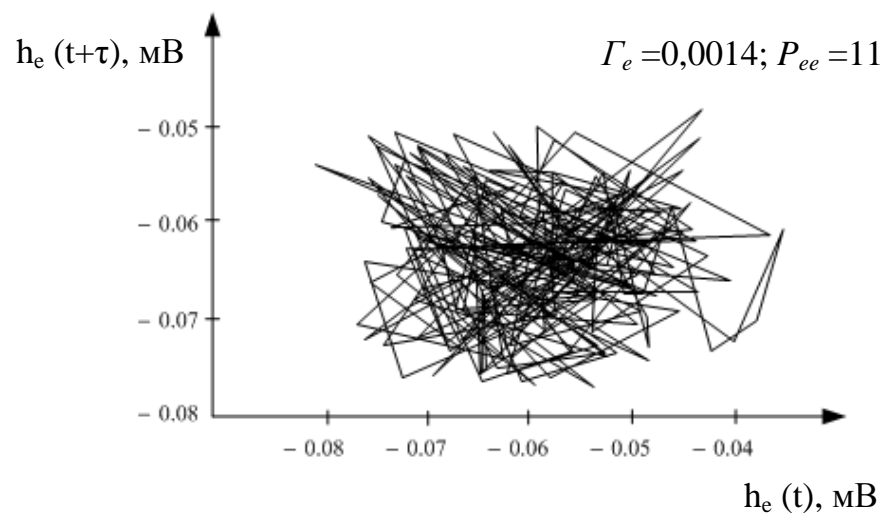
Представление во временной области



Представление в частотной области

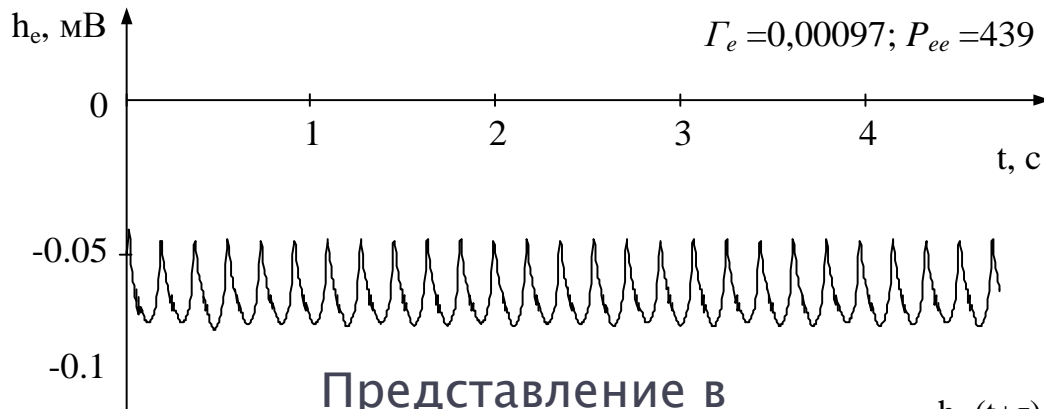


Представление в фазовом пространстве

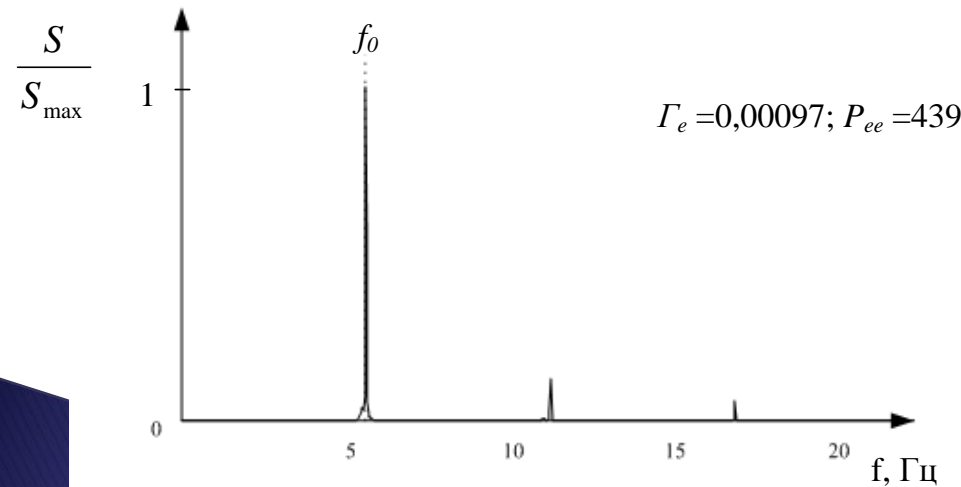


Реконструкция фазового пространства Состояние эпилептического приступа

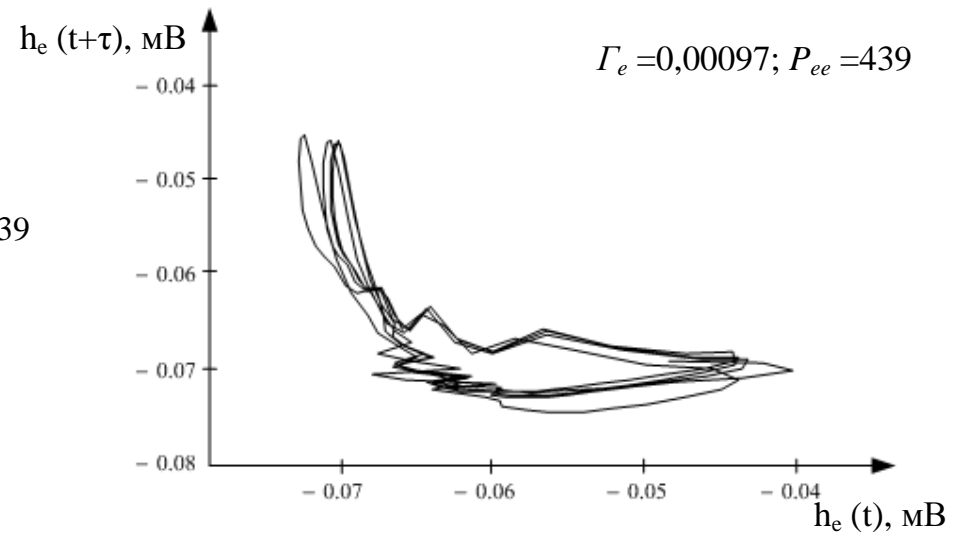
Представление во временной области



Представление в частотной области



Представление в фазовом пространстве

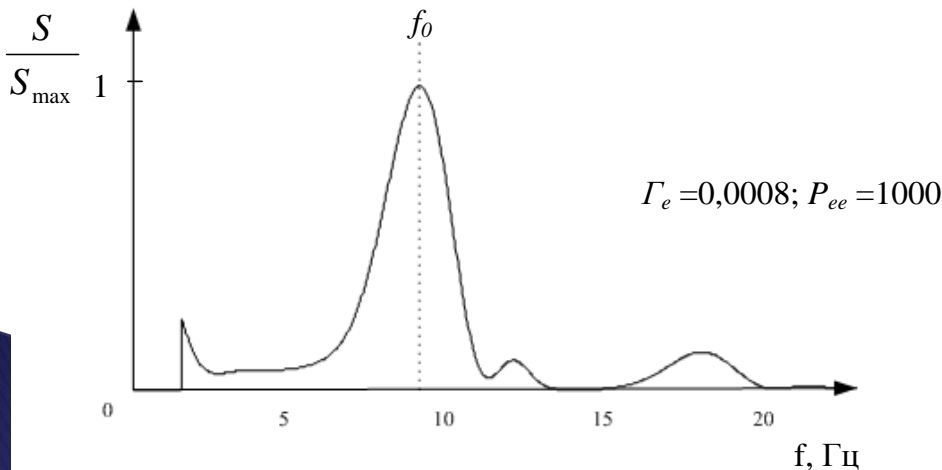


Реконструкция фазового пространства Состояние после эпилептического приступа

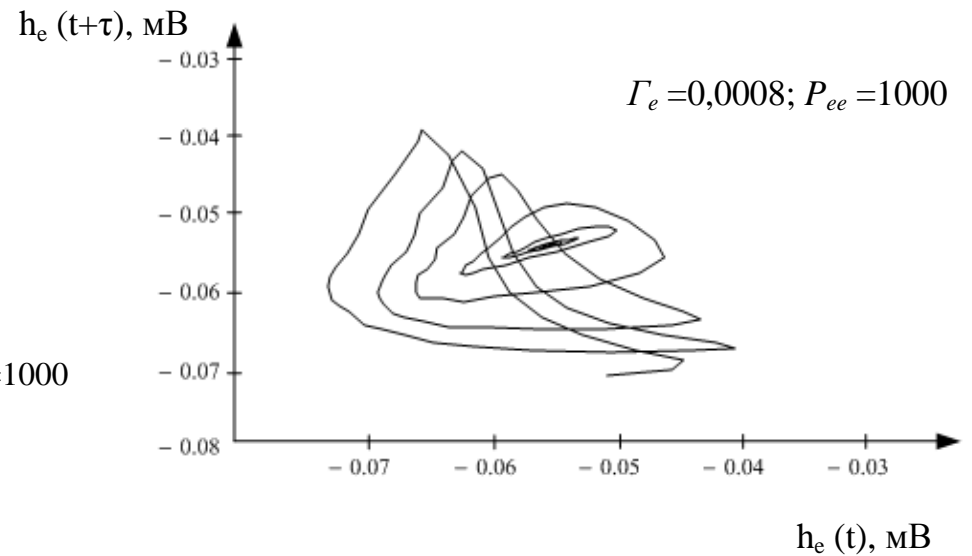
Представление во временной области



Представление в
частотной области



Представление в
фазовом пространстве



Расчет количественных показателей нелинейной динамики модельной электроэнцефалограммы Корреляционные размерности модельного ЭЭГ сигнала

Значения параметров	Состояние до «приступа»	Значения параметров	Состояние во время «приступа»	Значения параметров	Состояние после «приступа»
$P_{ee} = 11$ $\Gamma_e = 0,0014$	1,45	$P_{ee} = 439$ $\Gamma_e = 0,00097$	0,28	$P_{ee} = 1000$ $\Gamma_e = 0,0008$	3,78
$P_{ee} = 439$ $\Gamma_e = 0,001232$	3,36	$P_{ee} = 439$ $\Gamma_e = 0,0008$	1,04		
$P_{ee} = 439$ $\Gamma_e = 0,00098$	2,17				

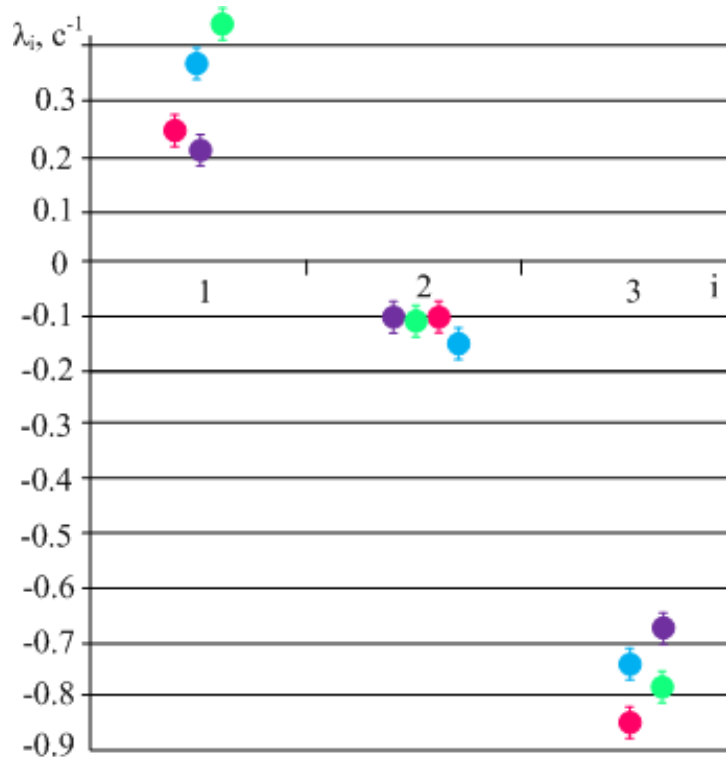
Максимальный характеристический показатель Ляпунова для исследуемого модельного ЭЭГ сигнала

Значения параметров	Состояние до «приступа»	Значения параметров	Состояние во время «приступа»	Значения параметров	Состояние после «приступа»
$P_{ee} = 11$ $\Gamma_e = 0,0014$	5,01 с ⁻¹	$P_{ee} = 439$ $\Gamma_e = 0,00097$	0,092 с ⁻¹	$P_{ee} = 1000$ $\Gamma_e = 0,0008$	3,41 с ⁻¹
$P_{ee} = 439$ $\Gamma_e = 0,001232$	4,08 с ⁻¹	$P_{ee} = 439$ $\Gamma_e = 0,0008$	-0,42 с ⁻¹		
$P_{ee} = 439$ $\Gamma_e = 0,00098$	2,00 с ⁻¹				

Аппаратура и предмет исследования

- ▶ Прибор для регистрации ЭЭГ – ЭНЦЕФАЛАН 13101.
- ▶ ЭЭГ–сигнал, снятый с пациентов в состоянии условного здоровья и пациентов с различными болезнями.
- ▶ Число пациентов – 16.
- ▶ Количество экспериментов для каждого пациента – 5–6
- ▶ Длительность одной электроэнцефалограммы– 40 с.
- ▶ Длительность выборок – до одной секунды. Число выборок с одного сигнала – 20 шт.
- ▶ Частота дискретизации 250 Гц.

Расчет характеристических показателей Ляпунова



- Невралгия до операции
- Рассеянный склероз
- Условно здоровые
- Игроки

Максимальный показатель Ляпунова, λ , c^{-1}	Женщины	Мужчины
Больные	0,21±0,02	0,38±0,03
	0,25±0,016	0,38±0,028
	0,32±0,027	0,24±0,017
		0,21±0,0168
		0,23±0,0161
		0,23±0,02
Условно здоровые	0,45±0,02	0,2±0,015
	0,32±0,018	0,18±0,013
	0,39±0,017	0,2±0,014
	0,42±0,02	

**Спасибо
за внимание!**