ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ: ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԿԵՆՍԱԲԱՆԱԿԱՆ ՀԱՆԴԵՍ
АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР. БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ АРМЕНИИ
т. XXII, № 4, 1969

УДК 577.3

Л. С. ГАМБАРЯН, Ю. М. ГАСПАРЯН, М. Х. ДЖУЛЬФАЯН

К АНАЛИЗУ СПОНТАННОЙ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНА МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭВМ*

В современной нейрофизиологии существуют три различные гипотезы, объясняющие происхождение спонтанной активности нейронов [7]: за счет синаптической бомбардировки, длительной циркуляции возбуждения по замкнутым цепям вставочных нейронов и ритмических свойств клеточной мембраны. Вторая гипотеза непосредственно примыкает к первой.

Спонтанная активность нейронов является одной из существенных функциональных характеристик и, вероятно, играет важную роль в деятельности мозга. Однако до сих пор ее природа и функциональное значение во многом остаются неясными.

В этой связи весьма важна и интересна задача исследования потока спонтанной импульсной активности нейрона с целью определения его статистических характеристик.

Работа нейрона в режиме спонтанной активности трудно поддается математическому описанию, что принуждает сделать ряд упрощений. С другой стороны, чисто экспериментальные исследования не дают возможности проводить количественные исследования. Поэтому более эффективным является сочетание математического моделирования с экспериментом. В научной литературе описаны некоторые работы такого характера [2, 3, 5, 6, 8]. Однако в общей постановке подобного рода задача является весьма сложной и трудно выполнимой современными математическими методами.

В последние десятилетия, в связи с быстрым прогрессом вычислительной техники, при исследовании сложных кибернетических систем более эффективным оказался метод статического моделирования на электронных вычислительных машинах (ЭВМ), ибо ему не присущи недостатки чисто аналитического моделирования; поэтому в данной работе в качестве метода изучения спонтанной активности нейрона принят метод статического моделирования на ЭВМ [1].

Исследования базировались на реализации алгоритма элементарной биологической системы, разработанной нами [4]. Моделирующий алгоритм реализован на ЭВМ «Раздан 2». Для выявления зависимости

---

* Сообщение II.

поведения модели нейрона от тех или иных параметров было принято*, что

1. $$K = \frac{1}{1 + \alpha_1\Delta_1 + \alpha_2\Delta_2 + \alpha_3 W_{ср}}. \quad (1)$$

2. Скорость гидролиза $\frac{dQ}{dt} = -\gamma Q$, где γ — некоторый коэффициент пропорциональности.

3. В момент выдачи выходного импульса t количество медиатора Q (t) уменьшается на $\frac{Q(t)}{C_0}$, где $\frac{1}{C_0}$ — некоторый коэффициент, с помощью которого регулируется длительность рефрактерного периода.

4. Спонтанный распад медиатора реализуется датчиком случайных чисел.

5. Интервалы времени между выделениями кванта медиатора изменяются случайно по некоторому закону распределения. Нами рассмотрены два случая:

а) интервалы времени изменяются случайно по нормальному закону распределения с математическим ожиданием $M(\Delta t)$ (Δt—длительность между очередными выделениями квантов медиаторов) и дисперсией σ.

б) интервалы времени изменяются случайно по равномерному закону распределения в заданных промежутках времени [Δt_0, Δt_n].

6. На теле клетки заканчиваются m входов (синаптических бляшек).

Величины α_1, α_2, α_3, γ, C_0 связаны непосредственно с нейроном. Назовем их параметрами нейронов.

В таблице 1 приведены те варианты значений параметров, для которых проведены машинные эксперименты.

Для каждого варианта эксперимент продолжался до тех пор, пока не регистрировались 250 выходных импульсов; после этого включалась программа статистической обработки полученных данных.

Результаты экспериментов показаны на рис. 1—6.

Обсуждение результатов. 1. На рис. 1 а, б показано как действуют параметры Δ_1 и Δ_2 на гистограммы спонтанной активности нейрона. Анализ рис. 1а позволяет считать, что увеличение α_1 приводит в основном к сужению кривых, более того, из этого же рисунка видно, что наибольшую вероятность имеют импульсные потоки с длительностью межимпульсных интервалов 30÷40 мсек. и 4÷8 мсек. Если импульсный поток с межимпульсными интервалами в 30÷40 мсек регистрируется экспериментально методом микроэлектродного отведения, то импульсы с межимпульсными интервалами в 4÷8 мсек регистрируются реже [2]. Из рис. 1 видно, что с изменением α_2 меняется распределение вероятностей между интервалами 4÷8 и 30÷40 мсек. Возможны следующие объяснения этого факта:

* Подробные сведения о значении обсуждаемых показателей см. сообщение I [4].

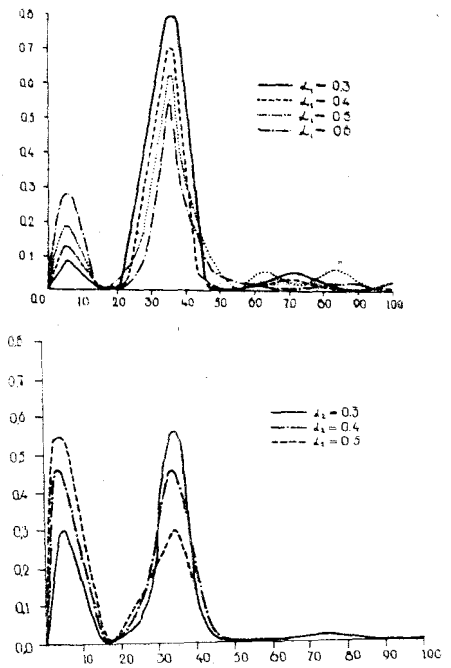

Рис. 1. Гистограммы межимпульсных интервалов α_1 и α_2.

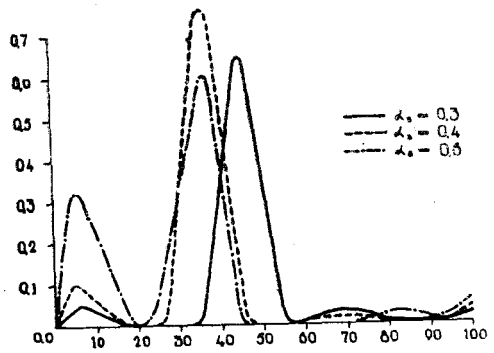

Рис. 2. Гистограммы межимпульсных интервалов при изменении α_3.

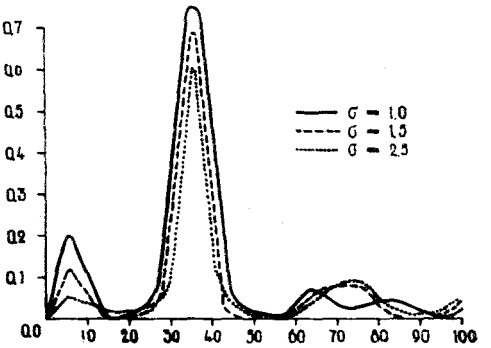

Рис. 3. Гистограммы межимпульсных интервалов при изменении σ.

а) причиной этого явления могут быть те упрощения, которые приняты в алгоритме.

б) более вероятно, что при микроэлектродном отведении регистрируется импульсный поток, в формировании которого участвует не только данный нейрон, но и целая нейронная сеть, прямо или косвенно связанная с данным нейроном. Иными словами, мы экспериментально получаем характеристики нейрона, работающего в динамическом режиме. Это наводит на мысль, что термин статический режим работы элемента, распространенный в технике, неприменим в физиологии.

Вероятно, в статическом режиме могут находиться искусственно изолированные живые клетки. Что же касается режима спонтанной (фо-

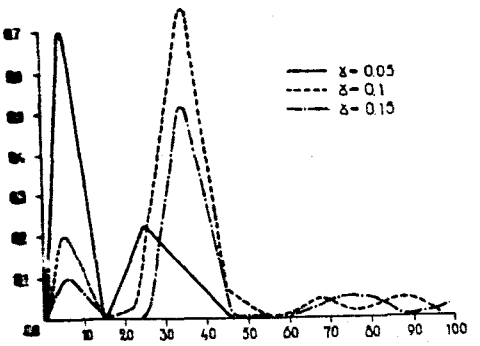

Рис. 4. Гистограммы межимпульсных интервалов при изменении γ.

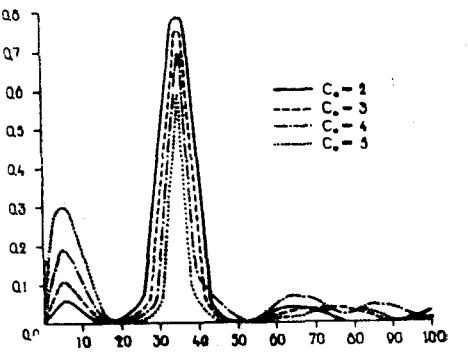

Рис. 5. Гистограммы межимпульсных интервалов при изменении C_0.

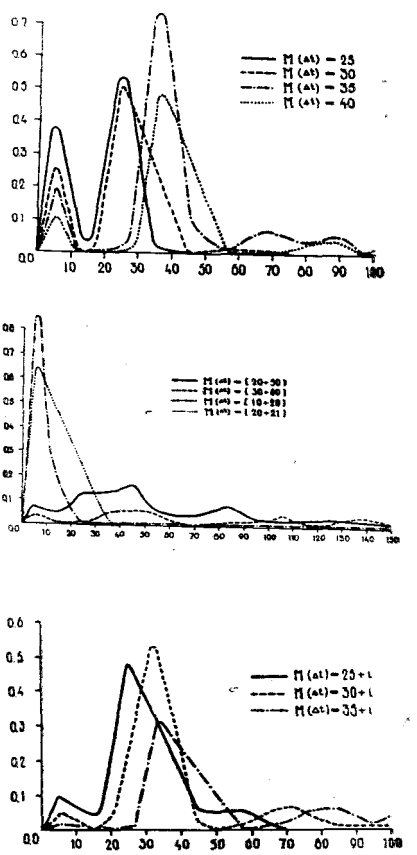

Рис. 6. Верхний рисунок — гистограммы при различных значениях математического ожидания межимпульсных интервалов $M(\Delta t)$ для нормального распределения. Средний рисунок — гистограммы при различных значениях математического ожидания $M(\Delta t)$ для равномерного распределения. Нижний рисунок — гистограммы при сдвиге математического ожидания между волокнами.

новой) активности нейрона, он тоже является своего рода динамическим, ибо функционирование нейрона зависит от системы нейронов (нейронных сетей). Нам кажется, что для различения двух динамических режимов нервных сетей (под этим можно понимать нервный центр, скопление нейронов и т. д.), а именно, режима спонтанной активности, когда отсутствует афферентная импульсация, и с наличием афферентной импульсации целесообразно ввести два термина: для первого термин **дрейфующий** (плавающий), для второго—**динамический.** Итак, можно сказать, что кривые на рис. 1а, б являются статическими характеристиками нейрона.

2. На рис. 2 показаны гистограммы нейрона при изменении среднего значения потенциалов гиперполяризации.

Таблица 1

Значения параметров нейрона, использованные в машинном эксперименте

α_1	α_2	α_3	M (Δt)	σ	γ	C_0	Вариации
0,3	0,2	0,5	35	1	0,1	4	I
0,4	—	—	—	—	—		
0,5	—	—	—	—	—	—	
0,6	—	—	—	—	—	—	
0,5	0	0,5	35	1	0,1	4	II
—	0,3	—	—	—	—	—	
—	0,4	—	—	—	—	—	
—	0,5	—	—	—	—	—	
0,5	0,2	0,3	35	1	0,1	4	III
—	—	0,4	—	—	—	—	
—	—	0,5	—	—	—	—	
—	—	0,6	—	—	—	—	
0,5	0,2	0,5	25	1	0,1	4	IV
—	—	—	30	—	—	—	
—	—	—	35	—	—	—	
—	—	—	40	—	—	—	
0,5	0,2	0,5	25+i	1	0,1	4	V
—	—	—	30+i	—	—	—	
—	—	—	35+i	—	—	—	
			(i=1, 2, ⋯, 9)				
0,5	0,2	0,5	35	1	0,2	4	VI
—	—	—	—	1,5	—	—	
—	—	—	—	2,5	—	—	
0,5	0,2	0,5	35	1	0,05	4	VII
—	—	—	—	—	0,1	—	
—	—	—	—	—	0,15	—	
0,5	0,2	0,5	35	1	0,1	2	VIII
—	—	—	—	—	—	3	
—	—	—	—	—	—	4	
—	—	—	—	—	—	5	
0,5	0,2	0,5	20÷50	1	0,1	4	IX
—	—	—	30÷60	—	—	—	
—	—	—	10÷20	—	—	—	
—	—	—	20÷21	—	—	—	

Из рис. 2 видно, что увеличение α_3 приводит к сдвигу второй части гистограммы налево и к сужению первой части ее. Это позволяет полагать, что за счет изменения α_3 можно в значительной степени управлять логикой нейронной сети.

3. Анализ кривых (рис. 3) показывает, что одновременные изменения дисперсии σ распределения вероятностей датчика случайных чисел мало сказываются на гистограммах нейрона.

4. На рис. 4 показаны гистограммы нейрона при различных значениях постоянного времени гидролиза γ. Из того же рис. видно—изменения γ в интервале $0{,}05 \div 0{,}5$ сильно сдвигают и изменяют гистограммы, а в интервале $0{,}1 \div 0{,}15$ действуют лишь на форму их. Анализ кривых позволяет считать, что γ является существенным параметром нейрона, и, вероятно, при разработке управляемого универсального логического элемента типа нейрон в качестве управляемого параметра следует взять γ.

5. Из рис. 5 видно, что уменьшение C_0 (C_0—коэффициент уменьшения Q в момент выдачи нейроном выходого сигнала) приводит лишь к сужению гистограмм, т. е. C_0 не является существенным параметром нейрона.

6. Анализ кривых (рис. 6а, б, с) показывает, что на гистограмму нейрона сильно действует математическое ожидание межимпульсных интервалов и сдвиг между ними для различных волокон.

Выводы

Метод статического моделирования на ЭВМ является эффективным средством для исследования сложных биологических систем.

Среднее значение потенциалов деполяризации и постоянная времени гидролиза медиатора являются существенными параметрами нейрона.

Анализ полученных результатов показывает, что нейрон является логически богатым элементом.

Лаборатория нейробионики
АН АрмССР

Поступило 26.VII 1968 г.

Ն. Ս. ՂԱՄԲԱՐՅԱՆ, Յու. Մ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Մ. Խ. ՋՈՒԼՖԱՅԱՆ

ՆԵՐՎԱՅԻՆ ԲՋՋԻ ՍՊՈՆՏԱՆ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍՏԱՏԻԿ ՄՈԴԵԼԱՎՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Հոդվածում բերվում են տվյալներ, որոնք ստացվել են «Հրազդան-2» մեքենայի վրա ստատիկ մոդելավման շնորհիվ։ Տվյալները վերաբերում են ներվային բջջի սպոնտան աշխուժությանը։ Ստացված արդյունքների հետազոտությունը հնարավորություն է տալիս անելու մի շարք կարևոր եզրակացություններ։

ЛИТЕРАТУРА

1. Бусленко Н. П. Математическое моделирование производственных процессов, Наука, 1964.
2. Василевский Н. Н. Физиологический журнал СССР, т. IV, 4, стр. 389—391, 1968.
3. Великая Р. Р., Куликов М. А. Биофизика, т. XI, выпуск II, стр. 321—329, 1966.
4. Гамбарян Л. С., Джульфаян М. Х., Гаспарян Ю. М. Биологический журнал Армении, т. XXI, 1, стр. 22—29, 1968.
5. Гаспарян Ю. М. Биологический журнал Армении, т. XIX, 7, стр. 14—20, 1966.
6. Королюк В. С., Костюк П., Пятигорский Б. Я., Ткаченко Э. П. Биофизика, т. XII, выпуск V, стр. 895—1000, 1967.
7. Костюк П. Г., Шаповалов А. И. Сб. Современные проблемы электрофизиологических исследований нервной системы, стр. 31—49, изд. «Медицина», М., 1964.
8. Пятигорский Б. Я. Биофизика, т. XI, выпуск 1, стр. 116—123, 1966.