

УДК 541.1

Задача о пачечном воздействии на обобщенный нейронный автомат

Коновалов Е.В.

*Ярославский государственный университет,
150 000, Ярославль, Советская, 14*

Аннотация

Рассматривается новая модель нейронного элемента — обобщенный нейронный автомат (ОНА). Эта модель носит универсальный характер, объединяет свойства нейрона-пейсмейкера и нейрона-детектора. Ставится и решается задача о пачечном воздействии на обобщенный нейронный автомат.

Модель обобщенного нейронного автомата впервые была введена в [1], [2]. Изучение искусственных нейронных сетей на основе модели обобщенного нейронного автомата проводилось в работах [3], [4] и др. В настоящей работе рассматривается задача поведения обобщенного нейронного автомата под действием пачечной активности. Под пачечной активностью понимается группа тесно следующих по времени импульсов. Этот феномен обнаруживается во многих биологических нейронных сетях, в том числе в человеческом мозге. Данная задача представляет самостоятельный интерес. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы в более сложных задачах, связанных с дальнейшим изучением обобщенных нейронных автоматов.

Обобщенный нейронный автомат представляет собой модель нейронного элемента, функционирующую в непрерывном времени. Состояние ОНА в момент времени t определяется функцией $u(t)$ — функцией мембранного потенциала, а также величиной порогового значения мембранного потенциала p . При всех t выполняется неравенство $u(t) \leq p$. Если в некоторый момент времени $t^{sp} : u(t^{sp}) = p$, то ОНА генерирует выходной сигнал — мгновенный импульс (спайк), который передается всем автоматам, связанным с автоматом-передатчиком. Воздействие осуществляется в течение времени жизни медиаторов автомата-передатчика T_m . Если в течение этого времени ОНА-приемник генерирует импульс, то воздействие прекращается. После генерации импульса автомат на время T_R переходит в рефрактерное состояние (состояние абсолютной невосприимчивости к воздействию со стороны других автоматов). В течение рефрактерного периода значение мембранного потенциала равно константе \underline{u} . Для удобства аналитического исследования величину \underline{u} целесообразно брать равной нулю.

После выхода автомата из рефрактерного состояния (в момент времени $t^{sp} + T_R$) и до генерации импульса (при отсутствии внешнего воздействия) функция мембранного потенциала $u(t)$ описывается дифференциальным уравнением:

$$\dot{u} = \alpha(r - u), \quad (1)$$

где r — равновесное значение, α — скоростной параметр ($r > 0, \alpha > 0$). В качестве начального условия берется $\underline{u} = u(t^{sp} + T_R)$.

Если в какой-то момент времени t^* ($t^* > t^{sp} + T_R$) на синапс ОНА-приемника поступил импульс от другого автомата, то, начиная с этого момента времени, функция мембранного потенциала автомата-приемника $u(t)$ описывается дифференциальным уравнением:

$$\dot{u} = \alpha(r + q - u), \quad (2)$$

где $q > 0$ — синаптический вес соответствующей связи. В качестве начального условия берется $u(t^*)$.

Если по прошествии времени жизни медиаторов T_m ОНА-приемник не успел сгенерировать импульс, то, начиная с момента времени $t^* + T_m$, функция мембранного потенциала автомата-приемника $u(t)$ вновь описывается дифференциальным уравнением (1). В качестве начального условия указывается величина $u(t^* + T_m)$.

Аналогично определяется поведение обобщенного нейронного автомата при более чем одном воздействии. Таким образом, в каждый момент времени (исключая период рефрактерности) функция мембранного потенциала ОНА удовлетворяет дифференциальному уравнению, заданному в общем виде следующим образом:

$$\dot{u} = \alpha\left(r + \sum_{i=1}^n q_i - u\right), \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^n q_i$ — суммарный синаптический вес активных в данный момент связей. При каждом изменении в перечне активных связей с течением времени, меняется величина $\sum_{i=1}^n q_i$. Если в момент времени t^* происходит такое изменение, то в качестве начального условия берется $u(t^*)$.

Формально определенная динамика мембранного потенциала ОНА соответствует развитию потенциала биологического нейрона. Она согласуется с "базовой нейронной моделью" [5]. Модель обобщенного нейронного автомата близка к модели биологического нейрона, построенной на основе дифференциальных уравнений с запаздыванием [6], [7]. При этом модель ОНА отличается простотой описания и позволяет избежать технических трудностей, связанных с интегрированием систем дифференциальных уравнений с запаздыванием.

Большинство моделей нейронных сетей может быть разделено на два класса. К одному из них относятся сети, элементы которых не способны к авторитмичности (нейроны-детекторы). При этом сеть, в целом, обладает способностью функционировать в колебательном режиме за счет взаимодействия отдельных нейронов или нейронных ансамблей. Примерами таких сетей являются сеть Винера [8], сети из интегративно-пороговых нейронов [9], сети из W-нейронов [10] и др.

Другой класс образуют нейронные сети, состоящие из элементов, обладающих авторитмичностью (нейроны-пейсмейкеры). К этому классу относятся сети на основе моделей Ходжкина-Хаксли [11], феноменологических моделей Хиндмарша-Роуза [12], ФитцХью-Нагумо [13-14] и др., всевозможные осцилляторные сети [15], в том числе на основе модели Вилсона-Коуэна [16]. К этому же классу относятся сети нейронных клеточных автоматов [17]. Как показывают биологические исследования, нервные клетки обоих типов присутствуют в биологических нейронных сетях, в том числе и в человеческом мозге.

Важно отметить, что обобщенный нейронный автомат, в зависимости от выбранных параметров, может вести себя и как нейрон-детектор, и как нейрон-пейсмейкер. Поэтому предлагаемая модель, обладая формальной простотой описания, носит универсальный характер. А именно, если $p < r$, то ОНА ведет себя как нейрон-пейсмейкер, то есть без внешнего воздействия будет периодически генерировать импульсы через промежуток времени T_A , определяемый из соотношения:

$$e^{-\alpha(T_A - T_R)} = \frac{r - p}{r - u}.$$

Если $p > r$, то ОНА будет вести себя как нейрон-детектор. Поэтому предлагаемая модель способна решать более широкий класс задач, чем специализированные модели детекторов или пейсмейкеров.

Рассмотрим m не связанных между собой обобщенных нейронных автоматов (m — натуральное число). Каждый из этих автоматов связан посредством синапсов возбудительного типа еще с одним обобщенным нейронным автоматом, поведение которого и будет исследоваться. Пусть первые m автоматов последовательно генерируют импульсы. Данная последовательность из m импульсов воздействует на исследуемый автомат. Пронумеруем эти m синапсов (и соответствующие им автоматы) в порядке начала выделения медиатора в них. Пусть соответствующие синаптические коэффициенты равны q_1, q_2, \dots, q_m . Отметим, что, если рассматриваемый автомат является детектором, то величины q_1, q_2, \dots, q_m должны удовлетворять неравенству $r + \sum_{i=1}^m q_i > p$. В противном случае воздействие пачки на ОНА-детектор окажется слишком слабым, и тот не сможет сгенерировать импульс. В случае ОНА-пейсмейкера это условие не обязательно. Тем не менее, для общности дальнейших рассуждений будем полагать данное неравенство верным. Обозначим t_i — момент импульса i -го автомата ($i = 1, 2, \dots, m$). Пусть исследуемый автомат к моменту начала воздействия вышел из состояния рефрактерности. Таким образом, моменты t_1, \dots, t_m упорядочены следующим образом: $T_R < t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_m$.

Определение 1. Воздействие назовем пачечным, если медиатор в m -м синапсе появился раньше, чем распался медиатор в первом синапсе, то есть если $t_m < t_1 + T_m$. Последовательность из m таких импульсов будем называть пачкой (берстом).

Определение 2. Пусть на обобщенный нейронный автомат действует пачка импульсов. Будем говорить, что он непосредственно реагирует на эту пачку, если его импульс происходит после начала выделения медиатора в m -м синапсе, но раньше, чем распался медиатор в первом синапсе. Это определяется условием $t_m < t_{sp} < t_1 + T_m$, где t_{sp} — момент импульса исследуемого автомата.

Пусть на исследуемый автомат периодически поступают идентичные пачки из m импульсов, и он непосредственно реагирует на каждую такую пачку. Период такого воздействия обозначим величиной T . Эта величина не должна быть слишком малой, чтобы к моменту начала очередной пачки исследуемый автомат успел отреагировать на предыдущую пачку и выйти из состояния рефрактерности. С другой стороны, период воздействия не должен быть слишком велик, чтобы исследуемый автомат не успевал

самостоятельно сгенерировать импульс. Это достигается следующим условием:

$$T_m + T_R < T < T_A \quad (4)$$

Обозначим t_i^j — момент импульса i -го автомата в j -й пачке ($i = 1, \dots, m; j = 1, 2, \dots$). Момент генерации спайка исследуемым автоматом под действием j -й пачки обозначим t_{sp}^j . Приурочим выход исследуемого автомата из состояния рефрактерности перед поступлением первой пачки к нулевому моменту времени. Введем также обозначения ξ_i для временных рассогласований между моментами i -го и $i - 1$ -го импульсов пачки:

$$\xi_i = t_i^j - t_{i-1}^j,$$

где $i = 2, 3, \dots, m$. Запоздывание спайка исследуемого автомата относительно последнего импульса пачки обозначим как $\xi^j = t_{sp}^j - t_m^j$.

Для того, чтобы исследуемый автомат непосредственно реагировал на k штук пачек, должны выполняться следующие неравенства:

$$t_{sp}^{j-1} + T_R < t_1^j \leq t_2^j \leq \dots \leq t_m^j < t_{sp}^j < t_1^j + T_m, \quad (5)$$

при всех $j = 1, 2, \dots, k$.

Применительно к временным рассогласованиям ξ_i, ξ^j условие (5) записывается следующим образом:

$$\begin{cases} \xi_i \geq 0 \\ \sum_{i=2}^m \xi_i + \xi^j < T_m \end{cases}, \quad (6)$$

при всех $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, k$. Имеет место следующая лемма.

Лемма 1.3.1. Пусть обобщенный нейронный автомат непосредственно реагирует на две пачки из m импульсов, поступающих через синапсы возбудительного типа. Вторая пачка начинается через промежуток времени T после начала первой пачки. При этом величины ξ_i, ξ^j удовлетворяют условиям (6) при $j = 1, 2$. Величина T удовлетворяет условиям (4).

Тогда рассогласование ξ^2 выражается через рассогласования $\xi_2, \xi_3, \dots, \xi_m, \xi^1$ следующим образом:

$$e^{\alpha \xi^2} = e^{\alpha \xi^1} \frac{r e^{-\alpha(T-T_R)} + \sum_{i=1}^m q_i e^{-\alpha \sum_{j=i+1}^m \xi_j}}{r + \sum_{i=1}^m q_i - p} + \frac{\sum_{i=1}^m q_i e^{-\alpha \sum_{j=i+1}^m \xi_j}}{r + \sum_{i=1}^m q_i - p}. \quad (7)$$

Доказательство. Если обобщенный нейронный автомат не испытывает воздействия извне, то функция его мембранного потенциала $u(t)$ удовлетворяет дифференциальному уравнению (1). Его решение записывается следующим образом:

$$u(t) = r - r e^{-\alpha t}.$$

Если в момент времени t^* по синаптической связи с весом q на данный автомат поступил импульс, то при $t > t^*$ функция мембранного потенциала $u(t)$ удовлетворяет дифференциальному уравнению (2). Его решение:

$$u(t) = r + q + e^{-\alpha(t-t^*)} [u(t^*) - r - q].$$

Рассмотрим поведение исследуемого автомата, начиная с момента t_{sp}^1 генерации им первого своего спайка. На промежутке времени $[t_{sp}^1; t_{sp}^1 + T_R]$ она находится в состоянии рефрактерности. В момент времени $t_{sp}^1 + T_R$ исследуемый автомат выходит из состояния рефрактерности. С этого момента величина мембранного потенциала $u(t)$ возрастает под действием пачки импульсов, достигая, в конце концов, величины порогового значения p . Как только величина мембранного потенциала становится равной пороговому значению исследуемый автомат генерирует импульс. Это происходит в момент времени t_{sp}^2 .

Рассмотрим промежуток времени $[t_m^2; t_{sp}^2]$. На этом промежутке времени формула изменения мембранного потенциала исследуемого автомата, в соответствие с дифференциальным уравнением (3), имеет вид:

$$u(t) = r + \sum_{i=1}^m q_i + e^{-\alpha(t-t_m^2)} [u(t_m^2) - r - \sum_{i=1}^m q_i]. \quad (8)$$

Значение мембранного потенциала $u(t_m^2)$ выражается следующим образом:

$$u(t_m^2) = r + \sum_{i=1}^{m-1} q_i + e^{-\alpha(t_m^2 - t_{m-1}^2)} [u(t_{m-1}^2) - r - \sum_{i=1}^{m-1} q_i].$$

Рассуждая аналогичным образом и последовательно рассматривая моменты времени $t_{m-1}^2, t_{m-2}^2, \dots, t_2^2$, получаем, в общем виде:

$$u(t_{m-n}^2) = r + \sum_{i=1}^{m-n-1} q_i + e^{-\alpha(t_{m-n}^2 - t_{m-n-1}^2)} [u(t_{m-n-1}^2) - r - \sum_{i=1}^{m-n-1} q_i], \quad (9)$$

где n принимает значения $1, 2, \dots, m-2$. В момент времени t_1^2 имеем:

$$u(t_1^2) = r - r e^{-\alpha(t_1^2 - t_{sp}^1 - T_R)}. \quad (10)$$

Последовательно подставим выражения (9) и (10) в формулу (8). После упрощений формула (8) приобретает следующий вид:

$$u(t) = r + \sum_{i=1}^m q_i - [r e^{-\alpha(t - t_{sp}^1 - T_R)} + \sum_{i=1}^m q_i e^{-\alpha(t - t_i^2)}]. \quad (11)$$

Преобразуем величины $t - t_{sp}^1 - T_R$ и $t - t_i^2$ ($i = 1, 2, \dots, m-1$) следующим образом:

$$\begin{aligned} t - t_{sp}^1 - T_R &= (t - t_m^2) + (t_m^2 - (t_{sp}^1 + T_R)) = (t - t_m^2) + (T - T_R - \xi^1), \\ t - t_1^2 &= \sum_{i=2}^m \xi_i + (t - t_m^2), \\ t - t_2^2 &= \sum_{i=3}^m \xi_i + (t - t_m^2), \\ &\dots \\ t - t_i^2 &= \sum_{j=i+1}^m \xi_j + (t - t_m^2), \\ &\dots \\ t - t_{m-1}^2 &= \xi_m + (t - t_m^2). \end{aligned}$$

В результате формула (11) примет следующий вид:

$$u(t) = r + \sum_{i=1}^m q_i - [r e^{-\alpha(T - T_R - \xi^1 + (t - t_m^2))} + \sum_{i=1}^m q_i e^{-\alpha(\sum_{j=i+1}^m \xi_j + t - t_m^2)}].$$

В момент времени t_{sp}^2 происходит генерация импульса, поэтому $u(t_{sp}^2) = p$. Получаем:

$$r + \sum_{i=1}^m q_i - [r e^{-\alpha(T - T_R - \xi^1)} + \sum_{i=1}^m q_i e^{-\alpha(\sum_{j=i+1}^m \xi_j)}] e^{-\alpha \xi^2} = p,$$

откуда вытекает соотношение (7). Лемма доказана.

Данная лемма связывает рассогласования ξ^1 и ξ^2 исследуемого автомата, то есть задержки в генерации им спайков под влиянием, соответственно, первой и второй пачек. Важно отметить, что результат леммы 1.3.1 может быть легко обобщен на случай двух любых поступающих друг за другом пачек. Тогда в соотношении (7) будут фигурировать не рассогласования ξ^1 и ξ^2 , а величины ξ^k и ξ^{k+1} ($k > 1$), представляющие собой задержки в генерации спайка исследуемым автоматом под действием k -й и $k+1$ -й пачек соответственно. Имеет место следствие из леммы 1.3.1.

Условия (6) применительно к этому следствию и рассогласованиям ξ^k и ξ^{k+1} переписываются следующим образом:

$$\begin{cases} \xi_i > 0 \\ \sum_{i=2}^m \xi_i + \xi^j < T_m \end{cases}, \quad (12)$$

при всех $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, k + 1$.

Следствие 1.3.1. Пусть обобщенный нейронный автомат непосредственно реагирует на k -тую $k + 1$ -ую пачки из m импульсов, поступающих через синапсы возбудительного типа. При этом $k + 1$ -ая пачка начинается через промежуток времени T после начала k -й пачки. Величины рассогласований ξ_i , ξ^j удовлетворяют условиям (12), а величина T — условиям (4).

Тогда рассогласование ξ^{k+1} выражается через рассогласования $\xi^k, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_m$ следующим образом:

$$e^{\alpha\xi^{k+1}} = e^{\alpha\xi^k} \frac{re^{-\alpha(T-T_R)}}{r + \sum_{i=1}^m q_i - p} + \frac{\sum_{i=1}^m q_i e^{-\alpha \sum_{j=i+1}^m \xi_j}}{r + \sum_{i=1}^m q_i - p}. \quad (13)$$

Доказательство. Доказательство производится аналогично доказательству леммы 1.3.1. Случай $k = 1$ в точности соответствует доказанной лемме.

Отметим два важных частных случая. Если все синаптические веса связей одинаковы, т.е. $q_1 = q_2 = \dots = q_m = q$, то формула (13) приобретает вид:

$$e^{\alpha\xi^{k+1}} = e^{\alpha\xi^k} \frac{re^{-\alpha(T-T_R)}}{r + mq - p} + \frac{q \sum_{i=1}^m e^{-\alpha \sum_{j=i+1}^m \xi_j}}{r + mq - p}. \quad (14)$$

Данное соотношение, применительно к ОНА-детекторам, используется при изучении нейронных сетей ОНА-детекторов модульной архитектуры.

Если в состав пачки входят только два автомата, то есть $m = 2$, то формула (13) приобретает вид:

$$e^{\alpha\xi^{k+1}} = e^{\alpha\xi^k} \frac{re^{-\alpha(T-T_R)}}{r + q_1 + q_2 - p} + \frac{q_1 e^{-\alpha\xi_2} + q_2}{r + q_1 + q_2 - p}. \quad (15)$$

Эта формула используется в задаче адаптации ОНА-пейсмейкера.

Рассмотрим теперь поведение обобщенного нейронного автомата, когда на него воздействуют не две пачки, а их бесконечная последовательность. При этом каждая из пачек запаздывает по отношению к предыдущей на величину T , удовлетворяющую соотношению (4). Возможны следующие две ситуации: либо периодически повторяющиеся пачки навязывают исследуемому автомату определенную частоту генерации импульсов, либо этого не происходит. В связи с этим сформулируем теорему.

Теорема 1.3.1. Пусть одна и та же пачка из m импульсов поступает на синапсы обобщенного нейронного автомата с периодом T . Данный автомат непосредственно реагирует на каждую такую пачку. Величины рассогласований ξ_i , ξ^j удовлетворяют условиям (12), а величина T — условиям (4).

Если выполняется неравенство

$$re^{-\alpha(T-T_R)} < r + \sum_{i=1}^m q_i - p, \quad (16)$$

то периодическое пачечное воздействие навязывает исследуемому автомату свою частоту генерации импульсов. При этом последовательность рассогласований $\{\xi^j\}$ ($j = 1, 2, \dots$) имеет предел ξ^* , который может быть найден по формуле:

$$\xi^* = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{B}{1 - A} \right), \quad (17)$$

где

$$A = \frac{re^{-\alpha(T-T_R)}}{r + \sum_{i=1}^m q_i - p}, \quad B = \frac{\sum_{i=1}^m q_i e^{-\alpha \sum_{j=i+1}^m \xi_j}}{r + \sum_{i=1}^m q_i - p}.$$

Доказательство. Условия теоремы таковы, что выполняется только что доказанное следствие 1.3.1. В формуле (13) положим:

$$A = \frac{re^{-\alpha(T-T_R)}}{r + \sum_{i=1}^m q_i - p}, \quad B = \frac{\sum_{i=1}^m q_i e^{-\alpha \sum_{j=i+1}^m \xi_j}}{r + \sum_{i=1}^m q_i - p}, \quad y_i = e^{\alpha\xi^i},$$

где $i = 1, 2, \dots$

В этих обозначениях формула (13) примет вид:

$$y_{k+1} = Ay_k + B,$$

где $k = 2, 3, \dots$

Из условия (16) следует, что $A < 1$. Поэтому для выписанного рекуррентного соотношения $y_k \rightarrow y^*$ при $k \rightarrow \infty$, где $y^* = \frac{B}{1-A}$. С другой стороны $y^* = e^{\alpha \xi^*}$. Из равенства $e^{\alpha \xi^*} = \frac{B}{1-A}$ получается в точности формула (17). Таким образом, для последовательности $\{\xi^i\}$ ($i = 1, 2, \dots$) существует предел ξ^* , который может быть найден по формуле (17). Теорема доказана.

Из данной теоремы вытекает способность периодического пачечного воздействия навязывать постороннему ОНА свою частоту генерации импульсов. Аналогичный результат можно получить и для соотношений (14), (15) как частных случаев формулы (13). Доказанная теорема носит общий характер, будучи верной и для ОНА-пейсмейкера, и для ОНА-детектора. В случае ОНА-детектора, как отмечалось выше, необходимо выполнение неравенства $r + \sum_{i=1}^m q_i > p$, то есть пачечное воздействие на ОНА-детектор должно быть более сильным — по сравнению с ОНА-пейсмейкером.

Литература

1. Коновалов Е.В. Организация колебаний в кольце, состоящем из обобщенных нейронных клеточных автоматов возбудительного типа. В сб. "Современные проблемы математики и информатики". Вып. 8 / Ярослав. гос. ун-т. Ярославль, 2006. С.52-56.
2. Майоров В.В., Коновалов Е.В. Обобщенный нейронный автомат в задаче распространения волны возбуждения по нейронной сети. // Сборник научных трудов IX Всероссийской научно-технической конференции "Нейроинформатика-2007". Ч.3. М.: МИФИ, 2007. С.124-131.
3. Майоров В.В., Коновалов Е.В. Обобщенный нейронный автомат в задаче распространения волны возбуждения по нейронной сети. // Нейрокомпьютер, 2007, N 7. С.3-8.
4. Коновалов Е.В. Устойчивый колебательный режим в нейронной сети обобщенных нейронных автоматов-детекторов. // Моделирование и анализ информационных систем. Ярославль, 2007, т.14, N 2, с. 30-35.
5. Крюков В.И., Борисюк Г.Н., Борисюк Р.М., Кириллов А.Б., Коваленко Е.И. Метастабильные и неустойчивые состояния в мозге. Препринт. - Пущино, НЦБИ АН СССР, 1986. 112 с.
6. Майоров В.В., Мышкин И.Ю. Об одной модели функционирования нейронной сети. // Модел. динам. попул., Н.Новгород, 1990, с. 70-78.
7. Майоров В.В., Мышкин И.Ю. Математическое моделирование нейронов сети на основе уравнений с запаздыванием. // Математическое моделирование, 1990, т.2, N 11, с. 64 -76.
8. Винер Н., Розенблот А. Проведение импульсов в сердечной мышце // Кибернетический сборник. М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. Т. 3. С. 3-56.
9. Hopfield J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities // Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1982. V. 79. №8. P. 2554-2558.
10. Майоров В.В., Шабаршина Г.В. Сообщение о сетях W-нейронов. // Моделирование и анализ информационных систем, Ярославль, 1997, в. 4, с. 37-50.
11. Hodgkin A. L., Huxley A. F. A quantitative description of membrane current and its applications to conduction and excitation in nerve. J. Physiol. London, v.117: p.500-544, 1952.
12. Hindmarsh J. L., Rose R. M. A model of neuronal bursting using three coupled first order differential equations. Proc R Soc London, Ser.B Biol Sci, 1984, v.221 p.87-102.
13. FitzHugh R. A. Impulses and physiological states in theoretical models of nerve membrane // Biophys. J., 1961. Vol 1, p.445-466.
14. Nagumo J. S., Arimoto S., Yoshizawa S. An active pulse transmission line simulating nerve axon. // Proc Ire, 1962, v.50 p.2061-2070.

15. *Omata S., Yamaguchi Y., Shimuzi H.* Entrainment among coupled limit cycle oscillator with frustration // *Physica D*, 1988, V. 31, P. 397-408.
16. *Wilson H. R., Cowan J. D.* Excitatory and Inhibitory Interactions in Localized Populations of Model Neurons. *Biophysical J.*, v. 12, p.1-24.
17. *Шабаршина Г.В.* Проведение возбуждения по кольцевой структуре нейронных клеточных автоматов. // *Моделирование и анализ информационных систем*. Ярославль, 1994, N 2. С 116-121.

The problem of burst influence on the generalized automatic neuron

Konovalov E.V.

A new model of the neuron cell - the generalized automatic neuron (GAN) is considered. This model has an universal character. It combines properties of neuron-oscillator and neuron-detector. The problem of burst influence on the generalized automatic neuron is raised and solved.