

**ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ  
ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ**

УДК 519.816+612.621+159.9

Л.М. Приснякова, В.Ф. Присняков

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЕРОЯТНОСТНОГО  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАК ОСНОВА ВЫБОРА «ЕДИНИЦЫ ОЩУЩЕНИЯ»**

*Рассмотрены теоретическая зависимость связи ощущений и раздражений, согласующаяся с известными опытными данными, связь между постоянной времени процесса переработки информации, памятью человека и альфа-ритмами мозга. Показана перспективность математического описания различных процессов в памяти человека как процессов переработки нею информации.*

Мозг человека при выборе и сбережении информации о тех или иных событиях, сигналах, которые следуют один за другим, сохраняет частоту их появления. При этом человек может осуществлять подготовку к наиболее вероятным действиям еще до восприятия соответствующих сигналов [1]. Такой процесс, осуществляемый на основе вероятностной структуры прошлого опыта, называют вероятностным прогнозированием [2]. Он является необходимым условием оптимального поведения индивида в стохастической среде, условием его адаптации к среде с изменяющейся статистической структурой.

Механизм сличения воспринимаемых сигналов с ожидаемыми изучался А.Н. Лебедевым [3]. Результаты исследования показали взаимосвязь времени реакции выбора информации и частоты колебаний биопотенциалов мозга, определяемых в результате электрофизиологических измерений. Нейрофизиологический механизм сличения воспринимаемых сигналов с ожидаемым (в преимущественном отношении альфа-ритма мозга к механизму восприятия и памяти) [3] нашел свое подтверждение и у авторов математической модели переработки информации памяти человека [4], показавшими, что альфа-ритм связан с постоянной времени  $T$  такого «информационного» процесса. Две совершенно различные модели – «локальная» нейрофизиологическая и осредненная модель «черного ящика», оказались связанными важнейшими характеристиками и  $T$ . Следовательно, сложные психофизиологические эксперименты могут быть заменены определением связи  $\tau$  и  $T$  с последующим теоретическим расчетом [4].

Основой упоминаемой теории переработки информации памятью человека является достаточно удачная интерпретация такого процесса уравнением

$$\frac{dI}{d\tau} = \dot{R} - \frac{I - \varphi}{T}, \quad (1)$$

где  $I(\tau)$  – количество информации, находящейся в памяти человека в момент  $\tau$ ;  $\dot{R}$  – темп поступления информации в память;  $\varphi$  – некоторое количество информации, достаточно долго хранящейся в памяти человека и являющейся «эталоном», неким «стандартом», с которым может происходить сравнение накапливающейся в памяти человека информации.

Предположение, что латентный период простейшей реакции оператора  $\tau_*$  определяется из решения уравнения (1) в момент равенства накопленной к этому времени информации величине  $\varphi$ , позволило найти [4] теоретическую формулу для  $\tau_*$ :

$$\tau_* = T \ln(1 + p), \quad (2)$$

где  $p = \frac{\varphi}{\dot{R}T}$ .

Формула (2) согласуется с опытными данными и фактически обобщает известные эмпирические формулы [4].

При определении времени реакции выбора  $\tau_p$  и величины  $\tau_*$  как возможной «единицы ощущения» мы предполагали, что время выбора  $\tau_p$  складывается из двух частей – времени простой реакции на заранее известный, внезапно появившийся сигнал  $\tau_*$ , и времени собственно реакции выбора. В этом случае можно использовать решение уравнения (1) в таком виде [4]:

$$I = \varphi_p + \dot{R}T + Ce^{-\tau/T} \quad (3)$$

с начальными условиями, соответствующими окончанию предыдущего латентного периода, т.е.  $I = I_0 = \varphi$  при  $\tau = \tau_*$ . Величина  $\varphi_p$  в уравнении (3) – стандарт информации, хранящейся достаточно долго в памяти и необходимой для выбора нужного сигнала, т.е.  $\varphi_p = \frac{\Phi}{n}$  ( $n$  – число альтернатив) или в таком виде  $\varphi = W\varphi_p$ , где  $W$  – вероятность появления сигнала.

Постоянную времени  $C$  находим по формуле

$$C = (\varphi - \varphi_p - \dot{R}T)e^{\tau_*/T}$$

и подставляем ее в уравнение (3):

$$I = \varphi_p + \dot{R}T + (\varphi - \varphi_p - \dot{R}T)e^{-(\bar{\tau} - \bar{\tau}_*)}$$

где  $\bar{\tau} = \tau/T$ ;  $\bar{\tau}_* = \tau_*/T$ .

При  $\bar{\tau} = \bar{\tau}_p$   $I = \varphi_p$ , что позволяет найти время реакции выбора

$$\bar{\tau}_p = \bar{\tau}_* + \ln \left[ 1 + p \left( \frac{1}{W} - 1 \right) \right] \quad (4)$$

Относительное время введем следующим образом:

$$\bar{\tau}_p = \frac{\tau_p}{\tau_*} = \frac{\bar{\tau}_p}{\bar{\tau}_*}$$

Это дает возможность в дальнейшем избавиться от необходимости определять постоянную времени  $T$ . Формула (4) приобретает такой вид:

$$\bar{\tau}_p = 1 + \ln \left[ 1 + p \left( \frac{1}{W} - 1 \right) \right] / \ln(1 + p) \quad (5)$$

Из анализа формулы (5) следует, что в точке двух равновероятных альтернатив время реакции выбора равно времени латентного периода простой реакции, причем в этой точке величина параметра  $p$  не влияет на этот результат. Увеличение вероятности появления сигнала  $W$  приводит к уменьшению порога  $\varphi_p$  и, как следствие, к уменьшению критерия  $p$  и величины  $\tau_p$ . Критерий  $p$  меняет знак при переходе от  $W = 1/2$  до  $W < 1/2$ . Увеличение  $p$  приводит к росту времени реакции выбора, при  $W > 1/2$ , наоборот, уменьшение  $p$  уменьшает и  $\tau_p$ .

Расчет, выполненный по предложенной формуле (5), согласуется с опытными данными работ [1] и [3].

В работе [3] время реакции выбора определяли в зависимости от вероятности появления (в постоянном темпе с интервалами 3-4 с.) сигналов шести типов – двух арифметиче-

ских знаков «+» и «-», четырех мастей игральные карт; 10 арабских цифр от 0 до 9, 16 букв латинского алфавита, 32 букв русского алфавита, всех 64 перечисленных сигналов. Полученные в этих опытах осредненные значения  $\bar{\tau}_p$  (соответственно с 7 и 12 испытуемыми) хорошо согласуются с расчетом по формуле (5) при  $p=5$ .

Теоретический результат, что при двух равновероятных альтернативах ( $W = 1/2$ ) независимо от величины параметра  $p$   $\bar{\tau}_p = 2\bar{\tau}_*$  (общее время реакции выбора из двух альтернатив в два раза больше простейшей сенсомоторной реакции), подтвержден опытами.

Учитывая тот факт, что наилучшее согласование с опытами было при  $p=5$ , авторы с помощью формулы (2) по опытным данным работы [3] смогли вычислить значения постоянной времени  $T$  и поставить в соответствие им частоты колебаний биопотенциалов  $f$ , близких к альфа-ритму. Построенный таким образом график  $T = T(f)$  является аналогичным графику, рассматриваемому в работе [4], связывающему постоянную времени процесса переработки информации памятью  $T$  и нейрофизиологическую характеристику мозга  $f$  (или близкую ей). Экспериментальные данные (частные и осредненные) описываются линейной функцией [4]:

$$T = T_0 - \theta f, \quad (6)$$

где  $T_0 = 0,32$  с;  $\theta = 0,0175$  с<sup>2</sup>.

Таким образом, снимая электроэнцефалограмму затылочной области испытуемого (в спокойном состоянии мышечной релаксации и при закрытых глазах [3]) и определяя частоту колебаний  $f$ , можно по формуле (6) вычислить постоянную времени  $T$ . В критерий  $p$  входят три величины –  $T$ ,  $\dot{R}$  и  $\varphi$ . Темп подачи информации  $\dot{R}$  – независимый параметр, который может быть найден из опытов. Тогда пороговую величину  $\varphi$  находят из условия  $\varphi = p\dot{R}T$ . Учитывая полученное значение  $p=5$  и формулу (6), нетрудно связать  $\varphi$  с частотой  $f$ :

$$\varphi = 5\dot{R}(T_0 - \theta f). \quad (9)$$

Очевидно, что количественно величина  $\varphi$  зависит от единицы измерения ощущений (раздражений), которая идентична единице измерений темпа подачи информации  $\dot{R}$ . Поэтому полученные результаты позволяют найти величину  $\varphi$ , что открывает возможность шкалировать ощущения (и раздражения), принимая за элементарную их единицу измерения  $\varphi$ . Эта величина в определенном смысле созвучна абсолютному порогу, т.е. физическому количеству стимуляции в виде поступившей в память информации, необходимой для «осознания» стимула при его сравнении в памяти со стандартом, равным  $\varphi$ . Такая трактовка близка к подходу С. Линка [5] к выбору единицы измерения ощущений, равной едва заметному различию между стимулами с вероятностью 3/4. Фехнер предлагал в качестве такой единицы использовать стимул абсолютного порога, который ощущается в 50 % случаев. Предлагаемый подход [5] позволяет связать количественно между собой ощущения и раздражения для различных модальностей. В самом деле, учитывая, что  $I = I(R)$ , основное уравнение теории переработки информации памятью (1) можно записать в таком виде:

$$\frac{dI}{dR} = 1 + \frac{(\varphi - I)}{RT}. \quad (7)$$

Вводя относительные величины ощущений и раздражений соответственно в виде  $\bar{I} = I/\varphi$  и  $\bar{R} = R/\varphi$ , решение уравнения (7) для обычных раздражителей можем представить следующим образом:

$$\bar{I} = \frac{(1+p)}{p} [1 - \exp(-p\bar{R})]. \quad (8)$$

В случае болевых раздражителей связь между ощущением боли и раздражением в работе [6] предложена в таком виде:

$$\bar{I} = (e^{p\bar{R}} - 1) / p. \quad (9)$$

Расчеты по формулам 8,9 дали хорошее согласование с экспериментальными данными работы [7].

Таким образом, полученные теоретические результаты дают возможность подойти к проблеме измерений в психофизике с количественных позиций, опираясь на детерминированный подход. Для рассмотренных случаев сигналов в виде чисел, букв, знаков значение  $\phi$  близко по абсолютной величине темпу подачи информации.

Рассмотрим некоторые преимущества теоретических формул перед эмпирическими. Например, известная формула Хика [2] связывает число стимулов только со временем реакции выбора. В то же время известные опыты Пьерона [2] показывают связь времени реакции с «физической силой раздражителя» (что отсутствует в формуле Хика) в виде

$$\tau_* = a\dot{R}^{-m} + b, \quad (10)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $m$  – некоторые эмпирические величины.

Если в формуле (2) раскрыть значение критерия  $p$ , то после разложения натурального логарифма в ряд нетрудно получить более общую зависимость  $\tau_*$  от  $\dot{R}$ , чем зависимость (10).

Приведенные результаты показывают перспективность математического описания различных процессов в памяти человека как процессов переработки ею информации.

Таким образом аналитическая зависимость определения времени реакции выбора от вероятности появления сигнала (5) пригодна для расчетов и анализа влияния различных факторов на эту важную характеристику памяти человека, величину перспективно использовать для шкалирования ощущений и раздражений, полученное аналитическое выражение связи ощущений и раздражений в относительном (по отношению к параметру  $\dot{R}$ ) виде согласуется с опытными данными. Проведенные расчеты подтвердили связь между постоянной времени  $T$  и частотой колебаний биопотенциалов мозга  $f$ . Определение числовых значений параметра  $p$  для различных индивидуумов, в том числе и для больных с патологией мозга, позволяет выяснять влияние на память человека различных структур мозга.

### Список литературы

1. Блинков С.М., Фейгенберг И.М., Цискаридзе М.А., Яковлев А.И. О нарушении вероятностного прогнозирования при некоторых очаговых поражениях головного мозга// Вероятностное прогнозирование в деятельности человека/Под ред. И.М. Фейгенберга, Г.Е. Журавлева. – М.: Наука. – 1979. – С. 347-360.
2. Фейгенберг И.М. Вероятностное прогнозирование в деятельности мозга//Вопросы психологии. – 1963. – №2.
3. Лебедев А.Н., Бовин Б.Г. О механизме сличения воспринимаемых сигналов с ожидаемыми// Нормативные и дескриптивные модели принятия решений – М.: Наука, 1981. – С.123-129.
4. Присняков В.Ф., Приснякова Л.М. Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с/
5. Link S.W. The wave theory of difference and similarity. - Hillsdale, New Jersey, 1992.
6. Приснякова Л.М., Присняков В.Ф. Время, информация, энтропия в физике, психологии, экономике. – Днепропетровск: Б. и - 1998. –206 с.
7. Stevens S.S. Psychophysics: Introduction to its perceptual, neural, and social prospects// New-York: Wiley. - 1975.
8. Бойко Е.И. Время реакции человека. – М.: «Медицина» – 1964.