

## ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МЕТОДИК ДЛЯ ОЦЕНКИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

В настоящей статье приведено математическое обоснование выбора нескольких методов для психофизиологической диагностики организма человека. Проведен анализ и отбор диагностических методик для программно-аппаратного комплекса исследования психофизиологического состояния человека. Дана краткая характеристика выбранных методик и описаны количественные критерии, позволяющие характеризовать с различных сторон текущее функциональное состояние центральной нервной системы человека: функциональный уровень системы, устойчивость реакции и уровень функциональных возможностей.

The subject of the article is proposed formal approach to the assessment of psychophysiological state of a person using probabilistic methods, in particular vector analysis, which allows to reduce the error level of the developed diagnostic system by increasing the number of diagnostic methods used in the hardware-software complex as the main criteria influencing the choice of test methodology, proposed the following: noninvasiveness, portability and the ability to work offline, time and place of the examination, the ability to survey a trainer, instructor or sports physician, and the presentation of the results in an understandable form for professionals with different qualifications.

The complex can be used for a wide range of scientific and practical problems in the field of General and vocational education, military service, physical culture and sports, social services.

### Введение

Поведение человека в сложных экстремальных ситуациях определяется его психологическим состоянием и готовностью к принятию решения и адекватным действиям. Для снижения возможности проявления ошибочных действий человека необходимо организовывать обучение, тренировки, развивающие быстроту мышления, подсказывающие, как использовать прежний опыт для успешного принятия решения, для перевода действий работника на уровень стереотипов, а также формирующие способность к прогнозированию. Кроме этого, нужно проводить профессиональный отбор, а также соответствие психофизиологических возможностей человека условиям труда. Профессиональный психологический отбор работников любой сферы деятельности ставит задачу выявить людей, у которых процесс обучения дает максимальный эффект при минимальном времени обучения. Профессиональная пригодность определяется положительной мотивацией к данной специальности; высоким порогом ощущения опасности; быстротой реакции на экстремальные ситуации; хорошим глазомером; устойчивостью, концентрацией и распределением внимания; нормальным состоянием двигательного аппарата; высокой пропускной способностью анализаторов и т. д.

Для этой цели разработан компьютерный комплекс на основе формализованного подхода к оценке психофизиологического состояния человека с использованием вероятностных методов, предназначенный для комплексной оценки психофизиологических и психологических свойств и функций организма здоровых, а также имеющих заболевания людей по результатам выполнения тестовых заданий.

### Обоснование использования комплекса диагностических методик для оценки психофизиологического состояния человека

Дадим формализацию понятия психофизиологического состояния организма человека. Рассмотрим различные психофизиологические состояния организма, которые имеют свои нозологические единицы («образы»). Каждое из состояний может быть описано многими способами, принадлежащими к разным областям человеческих знаний [1]. Конечное множество состояний обозначим  $A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$ .

Предположим, что для определения некоторого психофизиологического состояния  $A_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$  используются  $m$  методов диагностики. Пусть  $D = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_m\}$  - объединение этих методов в множество. Существует  $k$  диапазонов величин, используемых для измерений каждого из состояний  $A_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ . Все имеющиеся диапазоны объединим в множество  $B = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_k\}$

Следовательно, каждое из психофизиологических состояний организма  $A_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) можно охарактеризовать с помощью различных методов диагностики  $D_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ), каждый из которых использует определенные диапазоны параметров  $B_l$  ( $l = 1, 2, 3, \dots, k$ ).

Так как, множество методов диагностики  $D = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_m\}$  образует множество несовместных событий, то исходя из теории вероятностей, можно представить в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^k p(D_i) = 1, D_i \cdot D_j = 0, i \neq j; i, j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (0.1)$$

Психофизиологическое состояние  $A_i$ , получаемое с помощью конкретного метода диагностики  $D_j$  с использованием определенных диапазонов параметров  $B_l$  ( $l = 1, 2, 3, \dots, k$ ) обозначим:

$$A_i = A_i \cdot D_j \cdot B_1 + A_i \cdot D_j \cdot B_2 + \dots + A_i \cdot D_j \cdot B_k \quad (0.2)$$

$$\cdot D_j \cdot B_k = \sum_{l=1}^k A_i \cdot D_j \cdot B_l$$

Пусть  $a_j$  – количественная составляющая оценки психофизиологического состояния  $A_i$  полученная при диагностике методом  $D_j$ , а  $d_j = 1$ , если используется при диагностике метод  $D_j$  и  $d_j = 0$ , если при диагностике не используется метод  $D_j$ . Тогда психофизиологическое состояние, получаемое с помощью всех используемых методов диагностики  $D_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ) с использованием определенных параметров  $B_l$  ( $l = 1, 2, 3, \dots, k$ ) обозначим:

$$a_i^* = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^k a_i d_j B_l}{\sum_{l=1}^k B_l} \quad (0.3)$$

Для определенного метода диагностики  $D_j$  множество параметров  $B_l$  ( $l = 1, 2, 3, \dots, k$ ) также является полной системой несовместимых событий:

$$\sum_{i=1}^k p(B_i) = 1, B_i \cdot B_j = 0, i \neq j; i, j = 1, 2, 3, \dots, k \quad (0.4)$$

Определим вероятность диагностики психофизиологического состояния  $A_i$  исходя из того, что выбор методов диагностики равновероятен и выбор параметров при каждом из них также равновероятен. Получаем условную вероятность, т.е. вероятность обнаружения образа состояния при конкретной диагностике используя равновероятность выбора метода диагностики, теоремы сложения и умножения вероятностей и формулу полной вероятности:

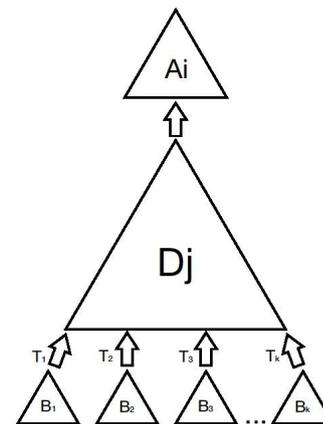
$$\begin{aligned} \rho(A_i) &= \rho(A_i \cdot D_j \cdot B_1 + A_i \cdot D_j \cdot B_2 + \dots + A_i \cdot D_j \cdot B_k) = \\ \rho(A_i \cdot D_j) \cdot \rho(\sum_{l=1}^k B_l) &= \rho(A_i \cdot D_j) = \rho(D_j) \cdot \rho(A_i / D_j) = \\ \rho(A_i / D_j) & \end{aligned} \quad (0.5)$$

Вероятность диагностики психофизиологического состояния человека с помощью используемых методик и диапазонов параметров (среднее арифметическое условных вероятностей) будет:

$$\begin{aligned} \rho(A_i) &= \rho(A_i \cdot D_1 \cdot B_1 + A_i \cdot D_1 \cdot B_2 + \dots + A_i \cdot D_1 \cdot B_k + \\ &A_i \cdot D_2 \cdot B_1 + A_i \cdot D_2 \cdot B_2 + \dots + A_i \cdot D_2 \cdot B_k + \dots + A_i \cdot D_m \cdot B_1 + \\ &A_i \cdot D_m \cdot B_2 + \dots + A_i \cdot D_m \cdot B_k) = \\ &= \rho(A_i \cdot D_1 + A_i \cdot D_2 + \dots + A_i \cdot D_m) = \\ &\sum_{j=1}^m \rho(D_j) \cdot \rho(A_i / D_j) = \frac{\rho(A_i / D_j)}{m} \end{aligned} \quad (0.6)$$

Описание психофизиологического состояния человека может не совпадать с состоянием, получаемым с помощью одного метода диагностики, что приводит к ошибкам в диагностике состояния. Используя несколько методов диагностики психофизиологического состояния человека, можно избежать этих ошибок.

Процесс принятия решения (диагностики психофизиологического состояния человека) может быть представлен логической схемой (рисунок 1), на которой определено время выполнения измерений и определение состояния.



**Рис. 1. Общая схема проведения диагностики психофизиологического состояния организма человека**

Следовательно, для точной оценки ПФС человека необходимо использовать несколько методов диагностики, и совпадение результатов работы нескольких диагностических средств, функционирующих в одном программно-аппаратном комплексе, приводит к увели-

чению достоверности получаемых результатов по оценке состояния.

Выбор методик, которые были использованы для обследования работников сферы телекоммуникации, обусловлен диагностическими возможностями методов, их безопасностью и комфортностью операторов, а также малым временем, требуемым на проведение измерений. Для оценки функционального состояния центральной нервной системы были подобраны следующие методики:

*Методика "Простая зрительно-моторная реакция"*. Простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР) – это элементарный вид произвольной реакции человека на зрительный стимул. Простая зрительно-моторная реакция состоит из двух последовательных компонентов: сенсорного (латентного) периода и моторного периода.

Простая зрительно-моторная реакция лежит в основе других целенаправленных приспособительных реакций человека, поэтому на основании показателя скорости ПЗМР можно сделать вывод о временных параметрах более сложных составляющих поведения человека. Кроме того, скорость простой зрительно-моторной реакции позволяет оценить интегральные характеристики центральной нервной системы человека, т.к. при ее реализации задействованы как основные анализаторные системы человека (зрительная и кинестетическая), так и определенные отделы головного мозга и нисходящие нервные пути[2].

Оценка результатов по методике "Простая зрительно-моторная реакция" при наличии нормального распределения производится на основании среднего значения времени реакции и стандартного отклонения. Среднее значение отражает среднюю скорость ПЗМР, характерную для данного индивида: чем меньше среднее значение времени реакции, тем выше скорость реагирования. Стандартное отклонение является показателем стабильности сенсомоторного реагирования: чем меньше стандартное отклонение, тем более стабильной является скорость сенсомоторной реакции.

Для получения наиболее полной информации о свойствах и состоянии центральной нервной системы на основании результатов по данной методике можно использовать дополнительные показатели, в частности критерии Т.Д. Лоскутовой и коэффициент точности Уиппла. На основании соответствия нестандартных ста-

тистических показателей состоянию обследуемого А.М. Зимкина и Т.Д. Лоскутова определили три количественных критерия, позволяющие характеризовать с различных сторон текущее функциональное состояние центральной нервной системы: функциональный уровень системы, устойчивость реакции и уровень функциональных возможностей.

Для получения наиболее полной информации о свойствах и состоянии центральной нервной системы на основании результатов по данной методике используются три количественных критерия, позволяющие характеризовать с различных сторон текущее функциональное состояние центральной нервной системы: функциональный уровень системы, устойчивость реакции и уровень функциональных возможностей[3].

Первый критерий - функциональный уровень системы (ФУС). Его величина определяется, главным образом, абсолютным значением времени реакции и отражает текущее функциональное состояние ЦНС, степень развития утомления под влиянием факторов окружающей среды.

Второй критерий - устойчивость реакции (УР). Величина этого показателя тем больше, чем меньше вариабельность значений времени простой двигательной реакции. Поскольку разнообразие значений времени реакций является проявлениями непрерывных флуктуаций состояния ЦНС, показатель УР рассматривается как критерий устойчивости состояния ЦНС. Следовательно, чем выше показатель УР, тем устойчивее, стабильнее текущее функциональное состояние ЦНС.

Третий критерий - уровень функциональных возможностей (УФВ). Он наиболее полно характеризует состояние ЦНС и позволяет судить о ее способности сформировать и достаточно долго удерживать соответствующее функциональное состояние.

Оценка функционального уровня системы вычисляется по формулам:

$$\text{ФУС} = \ln 1 / T_{\text{МОД}} \cdot \Delta T_{0,5} [c^2] \quad (0.7)$$

Оценка устойчивости реакции:

$$\text{УР} = \ln P_{\text{МАКС}} / \Delta T_{0,5} [c^{-1}] \quad (0.8)$$

Оценка уровня функциональных возможностей:

$$УФВ = \ln P_{\text{МАКС}} / \Delta T_{0,5} \cdot T_{0,5} [c^{-2}] \quad (0.9)$$

где ТМОД – время реакции, соответствующее пику гистограммы(наиболее вероятному значению);

$P_{\text{макс}}$  – вероятность(частота) появления значения, равного моде(амплитуда моды);

$\Delta T_{0,5}$  – диапазон времен реакций на уровне  $0,5P_{\text{макс}}$ .

На основании имеющегося экспериментального материала для аппаратной реализации метода получены [4] следующие граничные значения критериев функционального состояния ЦНС для здоровых испытуемых (таблица 1):

Функциональный уровень системы = 4,2-5,5.

Устойчивость реакций = 1,0-2,8.

Уровень функциональных возможностей = 2,7-4,8.

**Табл. 1. - Граничные значения критериев функционального состояния центральной нервной системы**

Состояние системы	ФУС	УР	УФВ
Высокий уровень	4,9-5,5	2,1-2,8	3,9-4,8
Средний уровень	4,5-4,8	1,5-2,0	3,1-3,8
Низкий уровень	4,2-4,4	1,0-1,4	2,7-3,0

Это исследование очень важно для интегральной оценки здоровья человека, особенно спортсменов и лиц экстремальных видов деятельности, подвергающихся воздействию чрезмерных и физических, и психоэмоциональных нагрузок. Для включения результатов теста зрительно-моторной реакции в итоговый протокол комплексного обследования вычисленные значения критериев пересчитываются в %.

Коэффициент точности Уиппла выявляет соотношение ошибок и правильных реакций и вычисляется по формуле:

$$КТ = \frac{N - R}{N + P} \quad (0.10)$$

где N – число измерений (предъявленных сигналов);

R – количество правильных нажатий;

P – количество ошибок.

Чем меньше данный показатель, тем выше степень точности выполнения заданий. Показатель точности свидетельствует о степени свой-

ства устойчивости внимания, обусловленного в свою очередь силой и уравновешенностью нервных процессов.

*Методика "Реакция на движущийся объект"*. Реакция на движущийся объект (РДО) представляет собой разновидность сложной сенсомоторной реакции, т.е. такой реакции, которая помимо сенсорного и моторного периодов включает период относительно сложной обработки сенсорного сигнала центральной нервной системой.

*Методика "Реакция различения"*. Реакция различения является разновидностью сложной сенсомоторной реакции. В отличие от простой реакции, реакция различения осуществляется на один определенный стимул из нескольких разнообразных стимулов. Поэтому процесс обработки сенсорной информации центральной нервной системой происходит не только по принципу наличия либо отсутствия сигнала, но и по принципу различения сигналов, отбора сигналов определенного цвета из общего их числа и формирования реакции на заданный вид сигнала. В связи с более сложным процессом обработки сенсорной информации центральной нервной системой скорость реакции различения меньше, чем скорость простой реакции, т.е. время, затраченное на осуществление реакции различения, больше, чем на осуществление простой реакции [5].

### Заключение

Предложен формализованный подход к оценке психофизиологического состояния человека с использованием вероятностных методов, в частности векторного анализа, что позволяет снизить уровень ошибок разрабатываемой системы диагностики за счет увеличения количества методов диагностики, использующихся в программно-аппаратном комплексе. В качестве основных критериев, влияющих на выбор методики тестирования, предложены следующие: неинвазивность, портативность и возможность автономной работы, время и место обследования, возможность проведения обследования тренером, инструктором или врачом, а также представление результатов в доступном виде для специалиста различной квалификации.

Комплекс может использоваться для решения широкого спектра научных и практических задач в области общего и профессионального образования, военной службы, физкультуры и спорта, социального обслуживания.

### Список литературы

1. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений [пер. с англ] [Текст] / Дж.Тьюки. - М: Мир, 1981.-694 с.
2. Пшеничный Б.Н., Данилин Ю.М. Численные методы в экстремальных задачах. М.: Наука, 1975. - 319 с.
3. Короленко Ц.П. Психофизиология человека в экстремальных условиях / Ц.П. Короленко. – Л.: Медицина, 1978. – 272 с.
4. Одерышев Б.С. Методики измерения функционального состояния человека / Б.С. Одерышев // Экспериментальная и прикладная психология. Психические состояния / под ред. А.А.Крылова. – Л., 1981. – С. 30–38.
5. Tuckow A.P. Nocturnal growth hormone secretory dynamics are altered after resistance exercise: deconvolution analysis of 12-hour immunofunctional and immunoreactive isoforms / A.P. Tuckow // American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. – 2006. – Vol. 291, N 6. – P. 1749–1755.