

УДК 629.735.015.017.2

В. В. Огоренко, кандидат медицинских наук,
ассистент кафедры психиатрии
Днепропетровской медицинской академии,
врач высшей категории
С. В. Клименко, кандидат технических наук,
доцент Днепропетровского национального
университета им. Олесья Гончара
В. В. Полищук, старший преподаватель
Академии таможенной службы Украины

ПСИХОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОПЕРАТОРОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПО ОБРАБОТКЕ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ

Досліджено розумову працездатність людини за даними психометричних вимірювань шляхом оцінки їх однорідності та порівняння зсуву і масштабу першої та другої половини вибірки цифрового тесту.

Рассмотрена задача исследования умственной работоспособности человека по данным психометрических измерений путем оценки их однородности и сравнения сдвига и масштаба первой и второй половины выборки цифрового теста.

The problem of the study of human mental capacity according to psychometric measurements by evaluation of their homogeneity and to comparison of location and scale of first and second half of the sample digital test are analysed.

Ключевые слова. Компьютерное психометрическое тестирование, выборочная дисперсия, тренд, непараметрический ранговый критерий, стимульная функция, функция решений, функция времени, ключ теста.

Введение. Для организации эффективной работы различных организаций, где основной деятельностью работников является обработка цифровой информации, необходимо учитывать такой важный фактор, как профессиональный отбор сотрудников. Одним из важнейших свойств оператора информационных систем является их умственная работоспособность и стационарность мышления при длительной умственной нагрузке.

Исследованиями в области создания компьютерных методик психометрического тестирования занимаются многие. Это В. П. Малайчук, В. А. Доровской, А. Ф. Приставка, О. Н. Мацуга, Л. Г. Коваль, В. В. Павлов и многие другие [1–3]. В каждой из разработанных компьютерных методик используются бланковые методы тестирования, которые получили широкое применение на практике, и математические подходы к обработке различных видов тестов. Особое значение уделяется людям с психическим и физиологическим отклонением состояния личности (здоровья) [1]. Количественная информация результатов тестирования несет неполную информацию о психическом и психофизиологическом состоянии личности. Наиболее полную информацию о личности можно получить при мониторинге одного и того же тестируемого, то есть при проведении нескольких тестирований одного и того же человека [2]. Но в условиях профессионального отбора операторов информационных систем одним из условий является получение информации об испытуемом в кратчайшие сроки. При этом возможности наблюдения за испытуемым практически нет. Тогда и возникает необходимость обработки результатов тестирования и прогнозирования психического и психофизиологического состояния человека. Таким образом, разработка математических методов вторичной обработки результатов тестирования является наиболее актуальной и необходимой при изучении возможностей человека.

© В. В. Огоренко, С. В. Клименко, В. В. Полищук, 2011

Оператор информационных систем способен в течение длительного времени решать в уме те или иные задачи или оценивать множество возможных вариантов решений. Такая умственная деятельность, как и физический труд, связана с состоянием усталости, когда количественно ухудшаются результаты труда. Умственную работоспособность оператора можно оценить по результатам компьютерного психометрического тестирования, исследуя стационарность измерений и используя такие показатели, как статистическая однородность, наличие или отсутствие тренда, изменение средних значений, разбросов и статистических закономерностей измерений первой и второй половины теста. Их неизменность, постоянство в течение времени тестирования характеризует работоспособность личности, стационарность мыслительной деятельности.

Обработка в уме цифровых данных является очень сложным мыслительным процессом. Поэтому для оценки умственной работоспособности чаще всего используются цифровые тесты [4]. Стимулы цифровых тестов – это последовательность двух арифметических выражений, значения которых должны вычисляться в уме, сравниваться и приниматься решения “больше”, “меньше”, “равно” [5]. Эти решения запоминаются, и измеряется время, которое тратится на подготовку ответов. Результаты тестирования – это последовательность решений (правильных и ошибочных) и выборка затрат времени на каждое решение. Для оценки работоспособности необходимо исследовать однородность выборки измерений и сравнить результаты тестирования первой и второй половины теста.

Постановка задачи. В данной статье рассматривается задача исследования полученных выборок результатов компьютерного тестирования на основе использования цифровых тестов. Для получения объективной информации об испытуемом необходимо провести исследование:

- 1) оценки однородности результатов тестирования, что позволяет выявить нарушение мыслительной деятельности испытуемого, такое как утомляемость мышления;
- 2) сравнения средних значений времени и принятия решения для первой и второй половины тестирования; в случае если полувыборки статистически неразличимы, то можно судить о том, что умственная работоспособность испытуемого не изменилась;
- 3) оценки тренда по результатам компьютерного психометрического тестирования, что необходимо для выявления изменения мыслительной деятельности и внимания испытуемого в процессе тестирования.

Результаты исследования.

Обработка результатов тестирования

1. Оценка однородности результатов тестирования.

Выборка считается однородной, если у измерений одинаковые статистические закономерности. При незнании этих закономерностей задачу оценки однородности можно решить на основе статистики рангов измерений. Для любой однородной выборки независимых случайных величин статистические закономерности суммы рангов, вычисляемой по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn} [T(i) - T(j)], \quad (1)$$

известны. Это случайная величина, и при $n \geq 10$ она имеет гауссово распределение вероятностей. Математическое ожидание и дисперсия как показатель разброса Q вокруг своего математического ожидания зависят только от размеров выборки n и равны

$$M Q = \frac{n(n-1)}{4}, \quad D Q = \frac{n(n-1)(2n-5)}{72}. \quad (2)$$

Показателем однородности исследуемой выборки случайных величин может служить разность между единицей и отношением вычисленного значения Q и его математического ожидания

$$q = 1 - \frac{Q}{M[Q]} = 1 - \frac{4Q}{n(n-1)}. \quad (3)$$

Для однородных выборок показатель q – нормальная случайная величина с нулевым математическим ожиданием и известной дисперсией σ_q^2 , равной

$$\sigma_q^2 = D q = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}. \quad (4)$$

Чтобы выявить нарушения однородности, необходимо сравнить эмпирические значения q с граничным значением q_0 . Если при этом имеет место неравенство $|q| > q_0$, то выборка неоднородна, то есть имеет место нарушение мыслительной деятельности, утомляемость мышления и исследование выборки необходимо продолжить, сравнивая две половины выборки. Пороги сравнения выбираются по заданному значению вероятности P_0 принятия ошибочных решений при условии, что выборки однородны ($P_0 = 1 - P$, где P – вероятность надежности, как правило, $P \geq 0,95$). При гауссовой аппроксимации закона распределения вероятностей показателя однородности q порог сравнения оценивается по формуле

$$q_0 = \sigma_q \Psi\left(\frac{1+P}{2}\right) = \frac{2}{3} \Psi\left(1 - \frac{P_0}{2}\right) \sqrt{\frac{2n+5}{2n(n-1)}}, \quad (5)$$

где $\Psi(x)$ – функция, обратная интегралу вероятности [6]. Можно при вычислениях пользоваться ее аппроксимацией

$$\Psi(x) \approx 4,91 \left[x^{0,14} - (1-x)^{0,14} \right]. \quad (6)$$

2. Сравнение средних значений времени на осмысление и принятие решений.

Для сравнения средних значений необходимо выборку измерений разделить на две части. Определить средние значения и выборочные дисперсии двух полувыборок по формулам

$$\bar{T}_1 = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^{\frac{n}{2}} T(k), \quad \bar{T}_2 = \frac{2}{n} \sum_{k=\frac{n}{2}+1}^n T(k), \quad D_{T_1}^* = \frac{2}{n-2} \sum_{k=1}^{\frac{n}{2}} (T(k) - \bar{T}_1)^2, \quad D_{T_2}^* = \frac{2}{n-2} \sum_{k=\frac{n}{2}+1}^n (T(k) - \bar{T}_2)^2. \quad (7)$$

Для сравнения средних используется критерий Стьюдента

$$t = \frac{\sqrt{n} (\bar{T}_1 - \bar{T}_2)}{\sqrt{2} \sqrt{D_{T_1}^* + D_{T_2}^*}}. \quad (8)$$

Если $|t| < t_0$, то полувыборки статистически неразличимы, умственная работоспособность испытуемого в процессе тестирования не изменилась.

Порог сравнения t_0 зависит от надежности решения (вероятность $P = 0,95$) и числа стимулов при тестировании. Точные значения t_0 определяются по таблицам [6]. Приближенно можно оценивать их по формулам

$$t_0(n) = \Psi(P) [1 - (\Psi^2(P) + 1)^{-1}]; \quad t_0 = \sqrt{\frac{4n}{n-4}}, \quad P = 0,95. \quad (9)$$

Так как у полувыборок могут изменяться как средние значения, так и разброс измерений относительно средних, а их статистические закономерности неизвестны, то для сравнения можно использовать непараметрический ранговый критерий Буша–Винда, который реагирует на изменения средних и на изменения разброса. Сформируем порядковую статистику

$$\tau(1) < \tau(2) < \dots < \tau(i-1) < \tau(i) < \dots < \tau(n-1) < \tau(n) \quad (10)$$

и определим ранги измерений первой полувыборки $T_1(k)$ относительно полной (порядковой) статистики выборки $T(k)$

$$R(T_1(k)) = \sum_{i=1}^n \text{sgn}(T_1(k) - \tau(i)) = R_1(k), \quad (11)$$

где $k = 1, 2, \dots, n/2$. Используя известную аппроксимацию обратной функции интеграла Гаусса $\Psi(z)$, сформируем две функции

$$\Psi\left(\frac{i}{n+1}\right) = 4,91 \left[\left(\frac{i}{n+1}\right)^{0,14} - \left(1 - \frac{i}{n+1}\right)^{0,14} \right], \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (12)$$

$$\Psi\left(\frac{R(k)}{n+1}\right) = 4,91 \left[\left(\frac{R_1(k)}{n+1}\right)^{0,14} - \left(1 - \frac{R_1(k)}{n+1}\right)^{0,14} \right]. \quad (13)$$

Вычислим два показателя

$$Q_1 = \frac{2\sqrt{n-1}}{n} \frac{\sum_{k=1}^{n/2} \Psi\left(\frac{R_1(k)}{n+1}\right)}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Psi^2\left(\frac{i}{n+1}\right)}}, \quad Q_2 = \frac{2\sqrt{n-1}}{n} \frac{\sum_{k=1}^{n/2} \Psi^2\left(\frac{R(k)}{n+1}\right) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Psi^2\left(\frac{i}{n+1}\right)}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Psi^4\left(\frac{i}{n+1}\right)}}. \quad (14)$$

Показатель Q_1 характеризует различия в средних значениях полувыборок, показатель Q_2 – различие в их выборочных дисперсиях. Буш и Винд предложили комбинированный критерий вида

$$W = -2\ln[2(1 - \Phi(|Q_1|))] - 2\ln[1 - \Phi(|Q_2|)], \quad (15)$$

где $\Phi(z)$ – интеграл вероятности Гаусса. Для его вычисления допустимо использование аппроксимации

$$\Phi(z) = 1 - 0,852 \exp\left[-\left(\frac{z+1,5774}{2,0637}\right)^{2,34}\right]. \quad (16)$$

Отсутствие изменения средних и неразличимости разброса измерений с достоверностью 0,95 принимается, если рассчитанное значение Буша–Винда W меньше порогового значения W_0 . Этот порог при малых выборках ($n < 60$) представлен в табл. 1.

Таблица 1

Порог при малых выборках

$n/2$	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40	50	∞
W_0	7,92	8,06	8,20	8,47	8,54	8,65	8,97	9,05	9,09	9,24	9,30	9,32	9,49

При $n > 60$ показатель Буша–Винда при исследовании однородных выборок описывается законом распределения хи-квадрат с 4 степенями свободы.

3. Оценка тренда по результатам компьютерного психометрического тестирования.

Методы обработки измерений зависят от взаимосвязи между значениями случайных величин и их номерами в выборочной последовательности. Если такой связи нет, то измерения представляют собой ряд независимых случайных величин, то есть являются стационарной случайной последовательностью. Наличие нестационарности в рядах $T(k)$ позволяет сделать вывод об изменении показателей мыслительной деятельности или внимания испытуемого в процессе тестирования. Для решения этой задачи воспользуемся методом Вальда–Вольфовитца [6]. По выборке $T(k)$ определяются ранги скоростей

$$R(T(k)) = \sum_{k=1}^n \text{sgn } T(k) - \tau_i, \quad (17)$$

где τ_i – упорядоченный ряд скоростей $T_1 < T_2 < T_3 < \dots < T_{i-1} < T_i < \dots < T_{n-1} < T_n$.

Критерий Вальда–Вольфовитца вычисляется по формуле

$$B = \sum_{k=1}^{n-1} \left(R(V(k)) - \frac{n+1}{2} \right) \left(R(V(k+1)) - \frac{n+1}{2} \right). \quad (18)$$

Для стационарных случайных последовательностей математическое ожидание $M[B] = 0$, а дисперсия зависит только от размеров выборки измерений

$$D B = \frac{n^2(n+1)(n-3)(5n+6)}{720}. \quad (19)$$

При $n > 20$ распределение B почти гауссово, поэтому решающее правило запишется в виде ($P = 0,95$)

$$|b^*| = \frac{|B^*|}{\sqrt{D B}} \leq 1,96 = \Psi\left(\frac{1+P}{2}\right). \quad (20)$$

Если $|b^*| > 1,96$, то последовательность содержит тренд, то есть имеет место зависимость параметров статистической закономерности от номера измерения, или измерения автокоррелированы. Линейный тренд описывается моделью

$$V_T(k) = a + bk, \quad (21)$$

коэффициенты которого оцениваются по выборке $T(k)$ методом наименьших квадратов

$$b^* = \frac{12 \sum_{k=1}^n kT(k) - 6(n+1) \sum_{k=1}^n T(k)}{n(n^2 - 1)}, \quad a^* = \frac{2 \sum_{k=1}^n T(k) - n(n+1)b^*}{2n}. \quad (22)$$

Следовательно, для данного тестирования уравнение тренда записывается в виде

$$\bar{T}(k) = a^* + b^* k \quad (23)$$

и характеризуется остатком, выборочная дисперсия которого равна

$$D^*[\Delta \bar{T}] = \frac{1}{n-2} \sum_{k=1}^n T(k) - a^* - b^* k)^2. \quad (24)$$

Дисперсии оценок a^* и b^* равны

$$D[b^*] = \frac{D^*[\Delta \bar{T}]}{n-1}, \quad D[a^*] = \frac{2(2n+1)}{n(n-1)} D^*[\Delta \bar{T}]. \quad (25)$$

Статистические выводы относительно коэффициента регрессии b , в частности о равенстве его нулю, можно сделать путем анализа разности $(b^* - b)$. Если $b = 0$, то вычисляется показатель их различия по формуле

$$t = \frac{\sqrt{n-1} \sqrt{D^* T}}{\sqrt{D^*[\Delta \bar{T}]}} b^*, \quad D^* T = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n T(k) - \bar{T}^2. \quad (26)$$

Этот показатель имеет распределение Стьюдента с $(n-2)$ степенями свободы, и если $|t| \leq t_0$, то принимается решение, что тренда в данной выборке скоростей нет.

Выводы. Предложены математические методы для оценки работоспособности операторов информационных систем при длительной умственной деятельности по результатам компьютерного психометрического тестирования. Разработаны математические методы, позволяющие определять однородность выборок измерений, что дало возможность выявлять нарушение мыслительной деятельности, такое как утомляемость мышления. Предложены математические методы сравнения результатов полувыборок тестирования, основанные на критериях Стьюдента, Буша и Винда, что позволяет выявить изменения умственной работоспособности испытуемого в течение одного тестирования. Разработаны математические методы выявления тренда и скачкообразного изменения статистических закономерностей полувыборок измерений компьютерного психометрического тестирования. Использование компьютерной психометрической методики тестирования с применением полученных математических методов оценки работоспособности и исследования изменений мыслительной деятельности по различным критериям позволяют провести профессиональный отбор операторов различных информационных систем с учетом особенностей мыслительной деятельности человека. Таким образом, использование полученной методики обработки результатов тестирования, а именно оценки работоспособности операторов информационных систем, позволяет выявлять способности человека к работе, связанной с цифровой обработкой, снятием цифровых данных, ведением базы данных и принятием решений по полученным данным.

Литература

1. Мацуга О. Н. Технология оценки влияния психологических особенностей больных на артериальную гипертензию и на уровень артериального давления / О. Н. Мацуга, И. В. Дроздова // Укр. журн. медтехники и технологий. – 2006. – № 4. – С. 46–69.
2. Емельяненко Т. Г. Принятие решений в системах мониторинга / Т. Г. Емельяненко, А. В. Зберовский, А. Ф. Приставка, Б. Е. Собко. – Днепропетровск : РИК НГУ, 2005. – 224 с.
3. Малайчук В. П. Математические основы психометрических исследований / В. П. Малайчук, Л. М. Приснякова. – Днепропетровск : ДГУ, 1996. – 234 с.
4. Огоренко В. В. Введение в психологию принятия решений. Системные технологии / В. В. Огоренко, В. П. Малайчук. – Днепропетровск, 2009. – 150 с.
5. Клименко С. В. Програмно-інформаційний комплекс проведення психофізіологічних досліджень / С. В. Клименко, Д. В. Кролевецький, Т. В. Кролевецька та ін. // Вісник Академії митної служби України. – 2008. – № 1. – С. 71–77.
6. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика / Кобзарь А. И. – М. : Физматлит, 2006. – 816 с.

