

**Н.А. Корневский**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

**А.Н. Шуткин**, канд. физ.-мат. наук, Воронежский институт государственной противопожарной службы (e-mail: anshutkin@mail.ru)

**Е.А. Бойцова**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: elena-boitcova@mail.ru)

**Е.Н. Корневская**, старший преподаватель, Донецкий национальный технический университет

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЯ ЛАТЕНТНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*Рассматриваются вопросы использования теории измерения латентных переменных на основе статистических моделей Г. Раша для решения задач оценки уровня психоэмоционального напряжения.*

**Ключевые слова:** психоэмоциональное напряжение, латентные переменные, информативный признак, нечёткие решающие правила.

### Введение

Решение задачи оценки уровня психоэмоционального напряжения является актуальной проблемой современной психологии и медицины, поскольку психоэмоциональное напряжение – важный фактор, влияющий на качество работы информационно-насыщенных человеко-машинных систем, а также «спусковой» механизм в появлении и развитии целого ряда психосоматических заболеваний.

С математической точки зрения задача оценки уровня психоэмоционального напряжения (ПЭН) относится к классу плохоформализуемых задач, поскольку отсутствует чётко сформулированное содержательное понятие психоэмоционального напряжения. Различные группы специалистов дают собственные определения, удобные для решения различных прикладных задач. В таких условиях имеет место отсутствие достаточно точных моделей количественной оценки уровня психоэмоционального напряжения.

В современной математике существуют различные подходы к решению плохоформализуемых задач, среди которых определённое место занимает теория измерения латентных переменных (IRT), которая основывается на том, что результат принимаемых решений не поддаётся прямым измерениям, в то время как ис-

\*\*\*

ходные данные для его определения можно измерить и рассчитать [10, 13, 14, 22, 23].

Такая ситуация характерна и для задачи оценки уровня ПЭН, когда вывод об исследуемом состоянии организма можно сделать на экспертном уровне, а признаки, его характеризующие, могут быть получены путём измерения психологических, психофизиологических и физиологических характеристик организма.

В общем виде в теории IRT устанавливается связь между двумя множествами значений латентных переменных. Первое множество – значения латентных переменных, характеризующих уровень качества объектов  $\theta_i$ , где  $i$  – номер объекта,  $i=1,2,\dots,n$ . Второе множество – значения латентных переменных, определяющих значимость  $j$ -го индикатора  $\beta_j$  ( $j=1,2, \dots, m$ ) [10, 22].

Георг Раш предложил разместить на одной шкале уровень качества объектов  $\theta_i$  и уровень значимости индикаторов  $\beta_j$  и измерять их в одних и тех же единицах, называемых логитами. За аргумент функции «успеха» или достижения данного уровня качества объекта принята разность  $\theta_i - \beta_j$ . Если данная разность положительна и велика, то высока и веро-

ятность достижения «успеха», то есть высокого значения латентного показателя  $i$ -го объекта при  $j$ -м индикаторе. Если же данная разность отрицательна и велика по модулю, то будет низкой и вероятность достижения «успеха».

В интерпретации, рассматриваемой в данной работе, под успехом будем понимать возможность оценки уровня ПЭН с заданной точностью (латентная переменная) по величинам признаков, характеризующих этот уровень (индикаторные переменные).

### Метод исследования

В теории измерения латентных переменных, основанной на модели Г. Раша, основной математической зависимостью является логистическая модель следующего вида [10, 22]:

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}. \quad (1)$$

В терминах решаемой задачи в выражении (1) параметр  $P_{ij}$  определяется как вероятность того, что у обследуемого с номером  $i$  при использовании информативных признаков  $x_j$  измеряется уровень утомления  $\theta_i$ , определяемый в логитах;  $\beta_j$  – значение  $j$ -й индикаторной переменной – эффективность использования признака  $x_j$  для оценки величины уровня психоэмоционального напряжения.

Все латентные переменные измеряются в логитах, которые формируются при переходе от количественных шкал (традиционно принятые в медицине шкалы измерений информативных признаков)  $x_i$  к безразмерным интервальным шкалам  $K_i$ .

Для перевода количественных шкал  $x_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ) в качественные шкалы  $K_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ) используется формула вида

$$K_i = \begin{cases} \text{int} \left( \frac{x_i - x_{i,\min}}{R_i} \right) & \text{при } x_i < x_{i,\max}; \\ n-1 & \text{при } x_i = x_{i,\max}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $x_i$  – текущее натуральное значение  $i$ -го индикатора;

$x_{i,\min}$  – наименьшее значение  $i$ -го индикатора;

$x_{i,\max}$  – наибольшее значение  $i$ -го индикатора;

$R_i$  – длина интервала шкалы  $K_i$ ;

$\text{int}(M)$  – целая часть числа  $M$ .

При этом длина интервала шкалы  $K_i$  определяется по формуле

$$R_i = \frac{x_{i,\max} - x_{i,\min}}{n}.$$

Для исследования роли индикаторных переменных в формировании латентной переменной разработан пакет прикладных программ RUMM 2020 (*Rasch Unidimensional Measurement Models*) [21, 22]. Используя значения индикаторных переменных, переведенных в логиты, пакет RUMM 2020 строит теоретические (характеристические) кривые модели Г. Раша, по которым судят о соответствии индикаторных переменных этой модели и в ходе итерационных процедур формируют пространство информативных признаков. Пример такого графика приведен на рисунке 1.

Относительно теоретической кривой по обучающей выборке формируются три примерно равные группы – с низким, средним и высоким уровнем исследуемых состояний человека, для которых определяются координаты их средних значений (три точки на рисунке 1). Считается, что если индикатор (информативный признак) хорошо соответствует общему набору индикаторов, то точки, соответствующие «слабым», «средним» и «сильным» уровням, близко располагаются относительно характеристической кривой.

Мера близости координат средних значений к теоретической кривой Г. Раша определяется по критерию Хи-квадрат.

В ходе реализации пакета RUMM 2020 рассчитываются:

– степень соответствия индикаторных переменных модели измерения (латентной переменной «психоэмоциональное напряжение») – *ChiSq Prob* ( $\chi^2_{\text{критич. Prob}}$ );

– местоположение индикаторной переменной, измеряемой в логитах – *Location*;

– погрешность измерения местоположения индикаторной переменной, измеряемой в логитах – *SE*;

– величина, характеризующая суммарное отклонение значений данного индикатора от ожидаемых значений на основе модели – *FitResid*.

Считается, что индикаторная переменная, для которой  $\chi^2_{\text{критич.}} \text{Pr ob} \geq 0,05$  (при доверительной вероятности 0,95), удовлетворяет модели Г. Раша и может

быть использована для описания исследуемой переменной. В работах [10, 14] можно найти подробное описание процедуры формирования списков индикаторных переменных, адекватных модели Г. Раша и пригодных для оценки исследуемой латентной переменной.

При реализации пакета прикладных программ RUMM 2020 кроме таблиц расчётов исследуемых параметров формируется график соответствия между уровнем интегрального показателя латентной переменной и значимостью индикаторных переменных (рис. 2).

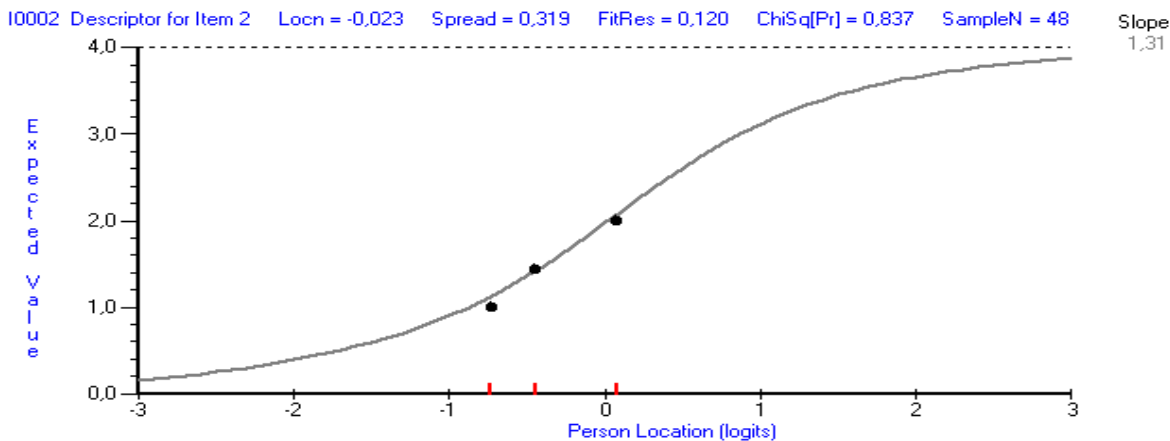


Рис. 1. Характеристическая кривая для индикатора  $x_j$  информативного признака (индикатора): ось абсцисс – шкала логитов индикаторных переменных; ось ординат – шкала логитов латентной переменной

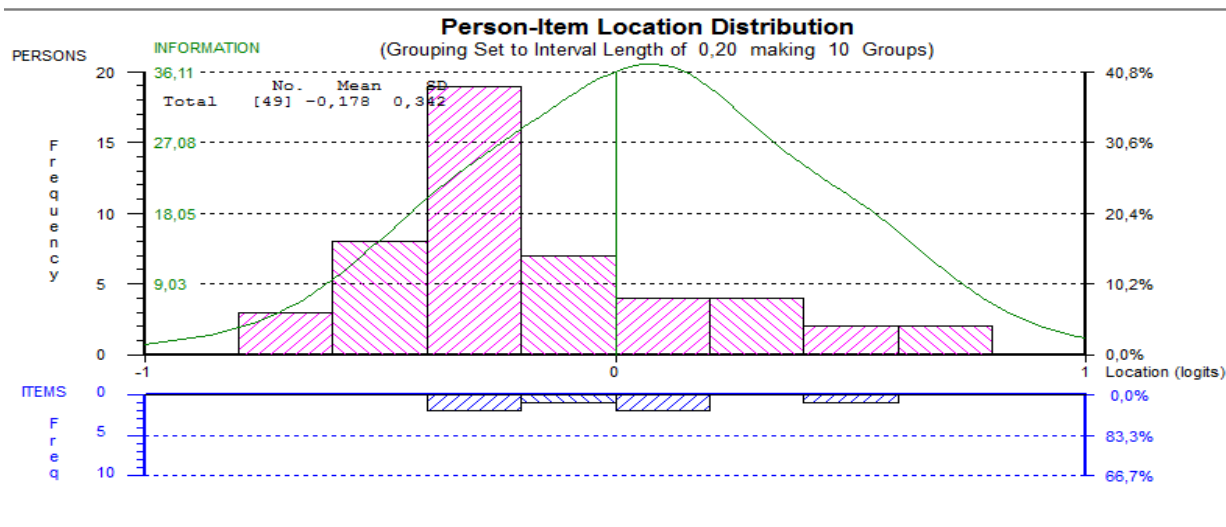


Рис. 2. Соответствие между уровнем интегрального показателя латентной переменной (вверху) и местоположением информативных признаков (индикаторов) (внизу)

На рисунке 2 осью абсцисс является шкала исследуемой латентной переменной  $L$ . По оси ординат верхней части рисунка 2 откладывается число объектов (людей из обучающей выборки), попадающих в полученные интервалы латентной переменной. То есть фактически этот рисунок представляет собой гистограмму распределения объектов наблюдения по шкале  $L$ . По оси ординат нижнего рисунка откладывается число информативных переменных, приходящихся на выделенные интервалы латентной переменной.

В идеальном случае гистограмма распределения значимости критериев должна быть близка к равномерному закону распределения [10, 22, 23]. Это означает, что представленный набор информативных признаков (индикаторов) с одинаковой точностью позволяет оценить исследуемый уровень ПЭН на всём диапазоне изменения значимости информативных признаков (индикаторов).

Средняя значимость информативных признаков (индикаторов) не должна отличаться от среднего уровня интегрального показателя более чем на 0,5 логит [14]. Если это условие выполняется, то можно сделать вывод о том, что система информативных признаков (индикаторов) соответствует измеряемой латентной переменной и набор используемых информативных признаков (индикаторов) является эффективным для целей измерения обобщенной латентной переменной.

Используя теорию измерения латентных переменных с моделью Г. Раша, можно не только получить число, обозначающее информативность того или иного признака, но и дать развернутое описание ряда его качественных свойств:

- способность дифференцировать шкалы принимаемых решений (уверенность в прогнозе, диагнозе);
- способность признака дифференцировать исследуемую латентную переменную в противоположность ожидаемой ситуации;
- определять признаки со сверхвысокой и сверхнизкой дискриминирующей

способностью, признаки с «неупорядоченной» классификацией и т. д.

Такая гибкость анализа системы информативных признаков на основе модели Г. Раша позволяет рекомендовать её как один из основных механизмов проведения разведочного анализа при решении общих задач синтеза моделей вычисления латентной переменной прогностических и диагностических решающих правил.

В пакете RUMM 2020 предусмотрена возможность определения функциональной связи между латентной переменной  $L$ , определяемой в логитах, и выбранным набором индикаторных переменных  $S_j$ :

$$L = f_L(S_j), \quad (3)$$

где  $f_L$  – вид функциональной зависимости  $L$  от  $S_j$ .

На рисунке 2 латентная переменная  $L$  представлена осью абсцисс.

Часто при синтезе решающих правил в условиях нечеткости и неопределенности используется аппарат нечеткой логики принятия решений с определением функций принадлежности к исследуемым классам состояний и (или) уверенности в принимаемых решениях по интервальной шкале  $[0;1]$  [3, 4, 5, 7, 8, 15, 16, 18, 19, 20, 21].

Для согласованного применения нечеткой логики принятия решений целесообразно шкалу  $L$  в логитах использовать как базовую переменную для построения функций принадлежности  $\mu_{\omega_\ell}(L)$  объекта исследований к классам состояний  $\omega_\ell$  или для построения нечетких функций уровня исследуемого состояния  $f_{\omega_\ell}(L)$ , включая уровень ПЭН.

### **Синтез правил расчёта уровня психоэмоционального напряжения на основе модели Г. Раша**

В соответствии с рекомендациями работ [1, 2, 6, 11, 12] в качестве индикаторных переменных для оценки уровня

ПЭН были выбраны три группы показателей, определяемые по блоку биологически активных точек, «связанных» с психоэмоциональным напряжением (точки R8, VB20 и P9); по блоку показателей, характеризующих состояние внимания, и по блоку субъективных тестовых методик.

По блоку биологически активных точек уровень ПЭН определяется выражением

$$Y_{PB}(j+1) = Y_{PB}(j) + f_P(\delta R_{j+1})[1 - Y_{PB}(j)], \quad (4)$$

где  $\delta R_j$  – относительное отклонение сопротивления БАТ с именем  $j$  от номинальной величины;

$$Y_{UB}(1) = f_P(\delta R_{R8});$$

$$R_2 = R_{VB20}; R_3 = R_{P9}.$$

По показателям внимания уровень ПЭН определяется с использованием метода диалогового конструирования двумерных отображающих пространств по координатам ( $Y_1, Y_2$ ) в его нечёткой интерпретации [5,19].

В соответствии с этим методом

$$Y_{PB} = \min[f_P(Y_1), f_P(Y_2)], \quad (5)$$

$$\text{где } f_P(Y_1) = \begin{cases} 0, & \text{если } Y_1 < 0; \\ 0,01Y_1, & \text{если } 0 \leq Y_1 < 80; \\ 0,8, & \text{если } Y_1 \geq 80, \end{cases}$$

$$f_P(Y_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } Y_2 < -10; \\ 0,01Y_2 + 0,1, & \text{если } -10 \leq Y_2 < 70; \\ 0,8, & \text{если } Y_2 \geq 70, \end{cases}$$

$$Y_1 = X_n + X_k; Y_2 = X_y; X_n = PB - PB_0;$$

$$X_k = KB - KB_0; X_y = UB - UB_0;$$

$PB$  и  $PB_0$  – текущая переключаемость внимания и переключаемость внимания, измеренная в состоянии спокойного бодрствования;

$KB$  и  $KB_0$  – соответствующие показатели концентрирования внимания;

$UB$  и  $UB_0$  – соответствующие показатели устойчивости внимания [17].

По компьютерным тестовым методикам уровень ПЭН оценивается по традиционным тестовым шкалам ситуативной (СТ) и личностной (ЛТ) тревожности в соответствии с выражением

$$Y_{PT} = f_P(CT) + f_P(LT)[1 - f_P(CT)], \quad (6)$$

где  $f_P(CT) =$

$$= \begin{cases} 0, & \text{если } CT < 35; \\ 0,0013CT - 0,58, & \text{если } CT \geq 35, \end{cases}$$

$$f_P(LT) =$$

$$= \begin{cases} 0, & \text{если } LT < 40; \\ 0,0012LT - 0,5, & \text{если } LT \geq 40. \end{cases}$$

Подробное описание методик определения индикаторных переменных  $Y_{PB}$ ,  $Y_{PB}$ ,  $Y_{PT}$  можно найти в работах [1, 2, 12].

Для использования диалогового пакета RUMM 2020 в ходе специально проводимых исследований формировалась таблица индикаторных переменных, характеризующих латентную переменную, названную уровнем ПЭН –  $Y_{PF}$ . Шкала  $Y_{PF}$ , выраженная в логитах, обозначена в работе как  $Y_{PLF}$ . Фрагмент данных приведен в таблице 1.

Таблица 1

Значения показателей индикаторных переменных для латентной переменной  $Y_{PF}$

$IP \backslash N$	1	2	3	4	5	6	...	28	29	30
$Y_{PB}$	0,02	0,0	0,09	0,07	0,11	0,21	...	0,88	0,86	0,91
$Y_{PT}$	0,03	0,01	0,08	0,06	0,12	0,18	...	0,87	0,9	0,89
$Y_{PB}$	0,03	0,00	0,07	0,11	0,09	0,19	...	0,81	0,89	0,87

В таблице 1  $N$  – номер обследуемого,  $IP$  – индикаторные переменные.

Для запуска пакета RUMM 2020 исходные данные таблицы 1 по формуле (2) были переведены в безразмерные шкалы. На рисунке 3 показан скриншот степени соответствия индикаторных переменных модели Г. Раша.

Расчетное критическое значение уровня значимости, характеризующее соответствие данного набора индикаторов модели Раша, при числе степеней свободы  $df=12$ ,  $\chi^2_{критич.}$   $Pr ob=0,999$ . Это больше 0,05 (при доверительной веро-

ятности, равной 0,95). Индекс сепарабельности (*Separation Index*) достаточно высокий и равен 0,993. Коэффициент альфа Кронбаха (*Cronbach Alpha*) также высок и равен 0,996. Мощность (оценка) системы индикаторов (*Power of Test-of-Fit*) оценивается как превосходная (*excellent*).

В процессе работы диалоговой системы RUMM 2020 была получена таблица индикаторных переменных, ранжированная по возрастанию значений *ChiSq Prob* (Хи-квадрат) (рис. 4).

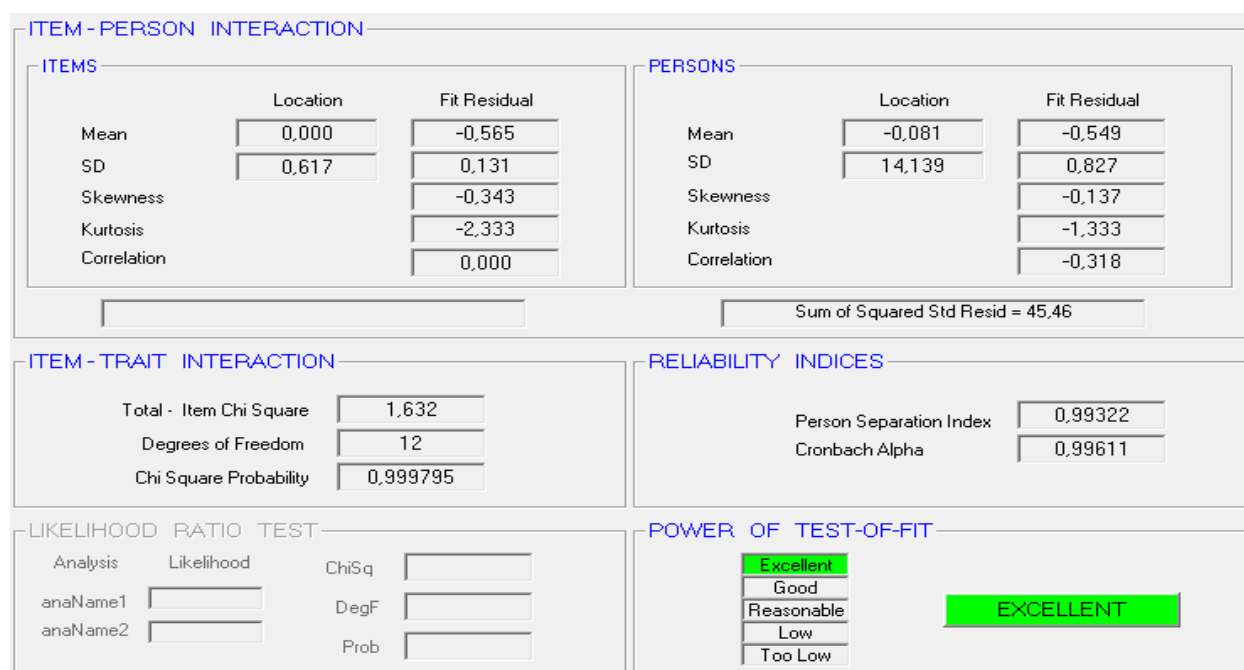


Рис. 3. Скриншот степени соответствия

INDIVIDUAL ITEM-FIT for Analysis Name D3 - Serial Order										
	Seq	Item	Type	Location	SE	FitResid	DF	ChiSq	DF	Prob
1	1	I0001	Poly	0,626	0,463	-0,714	11,67	0,964	4	0,915254
2	2	I0002	Poly	-0,017	0,470	-0,511	11,67	0,377	4	0,984341
3	3	3	Poly	-0,608	0,453	-0,470	11,67	0,291	4	0,990370

Рис. 4. Скриншот таблицы индикаторных переменных

Из таблицы рис. 4 следует, что все индикаторные переменные имеют показатель  $\chi^2_{критич.}$   $Pr ob > 0,05$ . Это означает,

что данный набор индикаторов удовлетворяет модели Г. Раша и может быть использован для определения латентной переменной  $Y_{PF}$  – уровень ПЭН.

Используя значения индикаторных переменных, пакет RUMM 2020 строит теоретические кривые модели Г. Раша, по которым судят о соответствии индикаторных переменных модели Г. Раша. Набор характеристических кривых для индикаторов  $Y_{P_B}$ ,  $Y_{P_B}$ ,  $Y_{P_T}$  приведён на рисунках 5–7.

Обобщенной характеристикой соответствия между интегральной латентной переменной и системой индикаторов служат соответствующие гистограммы распределения, аналогичные изображенным на рисунке 2.

На рисунке 8 представлена гистограмма распределения по шкале интегрального показателя « $Y_{PL_F}$  – уровень ПЭН в логитах».

Анализ графика (см. рис. 8) показывает наличие трёх довольно чётко выраженных состояний обследуемых.

Анализ распределения обследуемых по шкале  $Y_{PL_F}$  позволяет сделать вывод о том, что полученные данные практически равномерно заполняют всю эту шкалу, сформированную из шкал индикаторных переменных, причём большим значениям индикаторных переменных соответствует большее значение латентной переменной  $Y_{PL_F}$ .

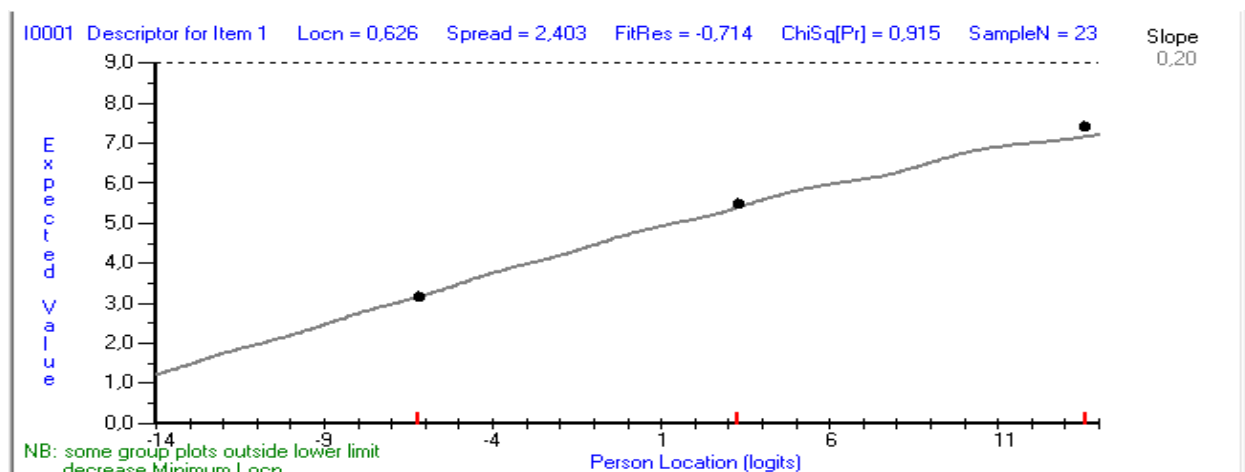


Рис. 5. Характеристическая кривая для индикатора  $Y_{P_B}$

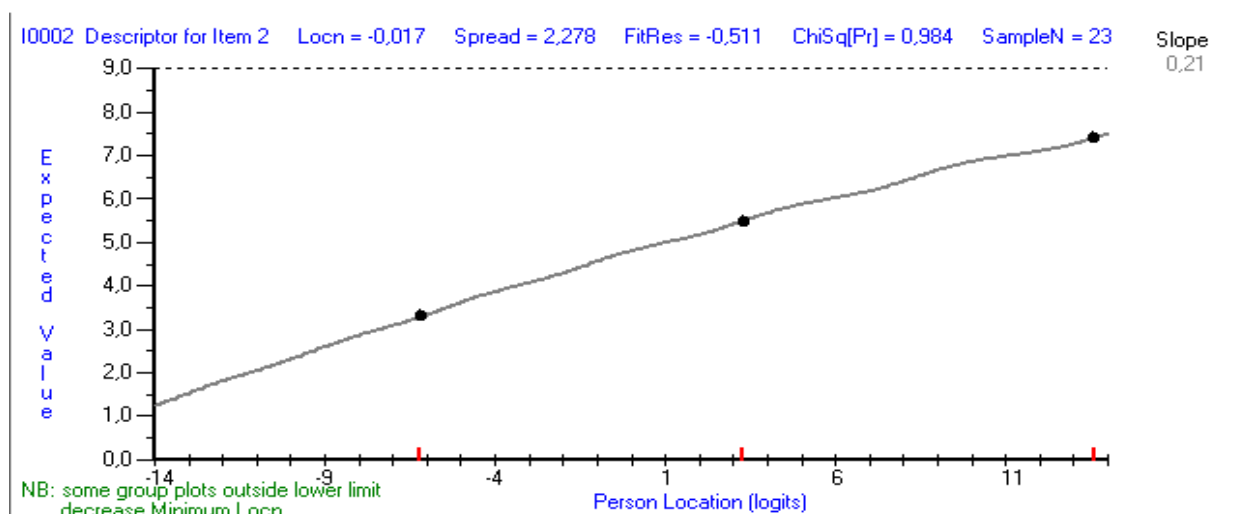


Рис. 6. Характеристическая кривая для индикатора  $Y_{P_B}$

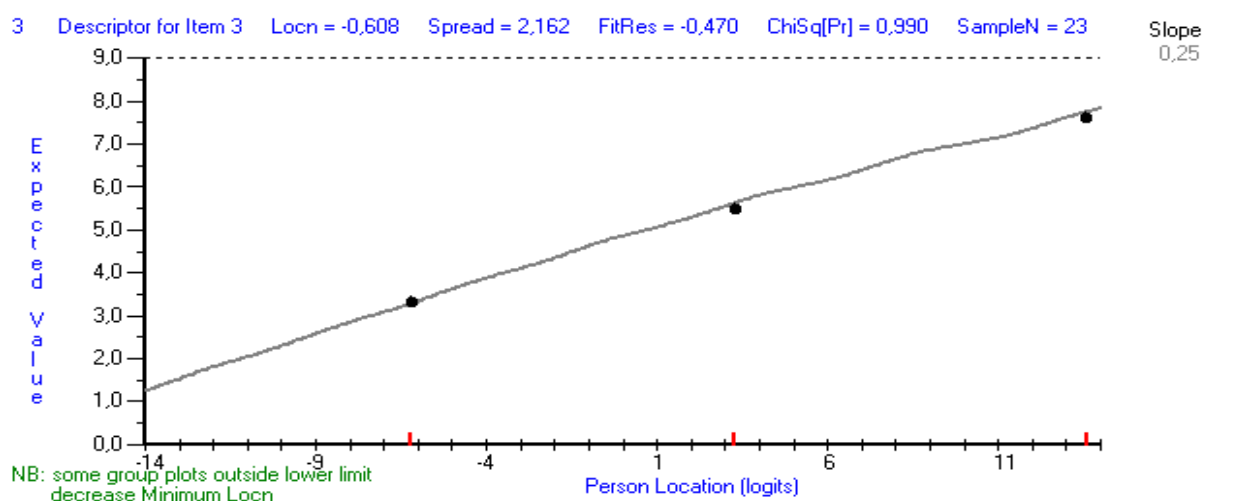


Рис. 7. Характеристическая кривая для индикатора  $Y P_T$

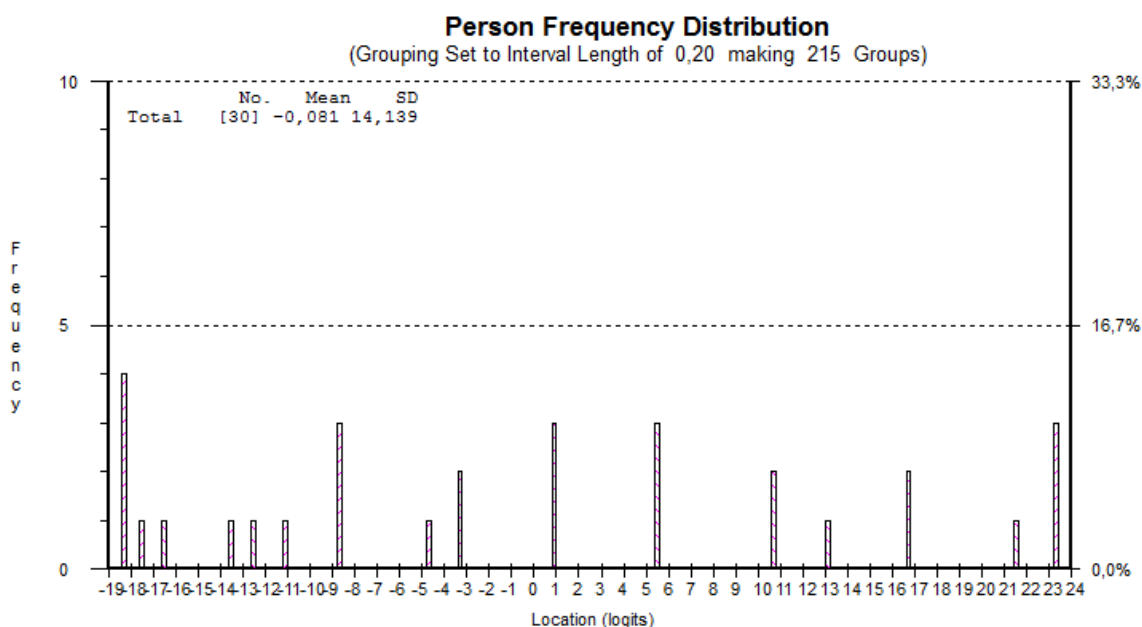


Рис. 8. Распределения интегрального показателя « $Y P L_F$  – уровень ПЭН»

Такое распределение позволило экспертам сделать вывод о существовании квазилинейной связи индикаторных переменных с латентной переменной линейного типа:

$$\begin{aligned}
 Y P_F &= f_L(Y P L_F) = \\
 &= f_L(Y P_B, Y P_B, Y P_T).
 \end{aligned}
 \quad (7)$$

Аналитически эта зависимость определяется выражением

$$Y P_F = 0,023 Y P L_F + 0,44. \quad (8)$$

График этой зависимости приведён на рисунке 9.

С другой стороны, на графике распределения выделяются 3 максимума, позволяющих сформировать три лингвистические переменные:

НУ – низкий уровень ПЭН в интервале  $(-19, \dots, -6)$   $Y P L_F$ ;

СУ – средний уровень ПЭН в интервале  $(-8, \dots, 15)$   $Y P L_F$ ;

ВУ – высокий уровень ПЭН в интервале  $(13, \dots, 24)$   $Y P L_F$ .

Это позволило экспертам определить соответствующие функции принадлежности  $\mu_{HY}(Y P L_F)$ ,  $\mu_{CY}(Y P L_F)$ ,  $\mu_{BY}(Y P L_F)$ , графики которых приведены на рисунке 10.



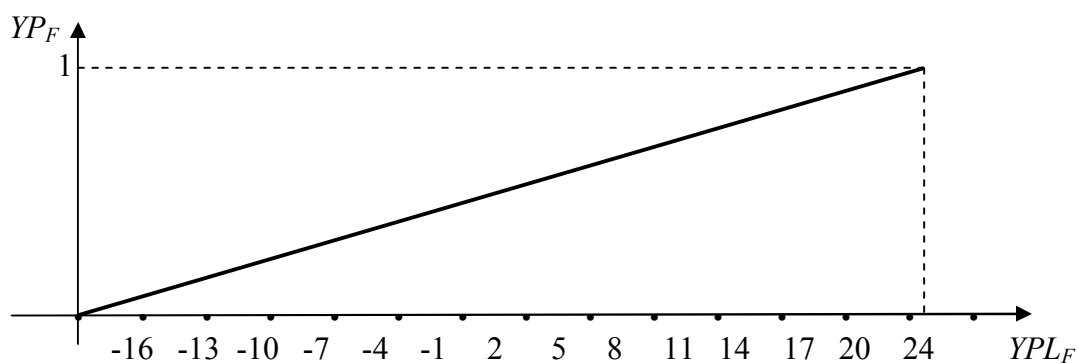


Рис. 9. График уровня психоэмоционального напряжения  $Y_{P_F}$  в зависимости от  $Y_{PL_F}$

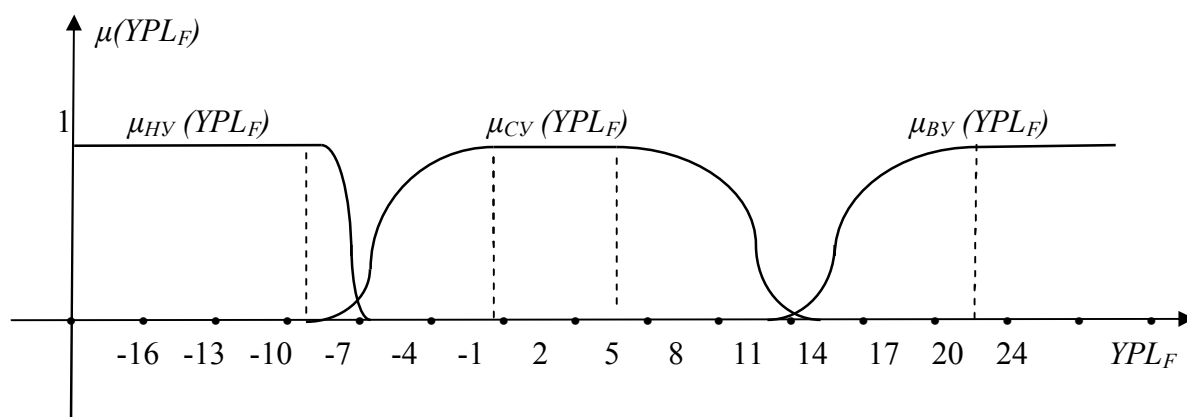


Рис. 10. Графики функций принадлежности с различным уровнем ПЭН

С учетом того, что на появление и развитие заболеваний влияет не только уровень ПЭН, но и его длительность, то кроме текущего уровня требуется учитывать и временной показатель, который

при отсутствии объективных средств контроля может быть заменен тестовым опросником, вариант которого для студенческой молодёжи представлен в таблице 2.

Таблица 2

Тестовый опросник на время существования ПЭН

№ п/п	Вопрос	Балл положительного ответа
1	До поступления в ВУЗ у Вас не было ощущения повышенного уровня психоэмоционального напряжения?	0
2	До поступления в ВУЗ Вы в последний год ощущали повышенное психоэмоциональное перенапряжение, но не связываете это с появлением каких-либо заболеваний?	0,5
3	До поступления в ВУЗ Вы последние два года ощущали повышенное психоэмоциональное напряжение, но не связывали это с появлением каких-либо заболеваний?	1
4	До поступления в ВУЗ Вы более двух лет ощущали повышенное психоэмоциональное напряжение, но не связывали это с появлением каких-либо заболеваний?	1,5

№ п/п	Вопрос	Балл положительного ответа
5	До поступления в ВУЗ Вы в течение года испытывали повышенный уровень психоэмоционального напряжения, и по Вашим ощущениям это привело к появлению заболеваний?	2
6	До поступления в ВУЗ Вы более чем год находились в состоянии повышенного психоэмоционального напряжения, и по Вашим ощущениям это привело к появлению заболевания?	2,5
7	До поступления в ВУЗ средствами объективного врачебного контроля у Вас был зарегистрирован повышенный уровень психоэмоционального напряжения длительностью больше года, но это не было связано с заболеваниями?	2
8	До поступления в ВУЗ у Вас были зарегистрированы заболевания, которые специалисты связывают с высоким уровнем психоэмоционального напряжения или стрессом?	3
9	Обучение в ВУЗе не вызывает у Вас чувства психоэмоционального напряжения?	0
10	Повышенный уровень психоэмоционального напряжения у Вас при обучении в ВУЗе длится более полугода, но меньше года?	3
11	Повышенный уровень психоэмоционального напряжения при обучении в ВУЗе у Вас продолжается от года до двух лет?	4
12	Повышенный уровень психоэмоционального напряжения при обучении в ВУЗе у Вас продолжается от двух до трех лет?	5
13	Повышенный уровень психоэмоционального напряжения при обучении в ВУЗе у Вас продолжается от трех до четырех лет?	6
14	Повышенный уровень психоэмоционального напряжения при обучении в ВУЗе у Вас продолжается больше четырех лет?	7

В таблице 2 баллы распределялись на экспертном уровне с использованием технологии Делфи.

Первые восемь вопросов связаны с довузовским периодом жизни ( $z_1$ ), а остальные – с периодом обучения в ВУЗе ( $z_2$ ). Общее число баллов по предлагаемому опроснику определяется по формуле

$$z_p = z_1 + z_2. \quad (9)$$

Балльная оценка  $z_p$  может быть использована для определения уровня хронического психоэмоционального напря-

жения  $YPH$ . В данной работе предлагается два способа расчёта  $YPH$ .

Первый способ заключается в том, что  $z_p$  приводится к шкале  $[0, \dots, 1]$ , а величина  $YPH$  определяется выражением

$$YPH = \frac{z_p \cdot YP}{10}. \quad (10)$$

При этом необходимо иметь в виду, что  $YP$  и  $YPH$  имеют различные смыслы по отношению к решаемым задачам и поэтому не могут быть использованы в одних и тех же формулах.

Второй способ основан на использовании моделей Г. Раша, когда в качестве индикаторных переменных используются показатели  $Y_{P_B}$ ,  $Y_{P_T}$ ,  $Y_{P_B}$  и  $Z_P$ , а в качестве латентной переменной –  $Y_{PH}$ .

Фрагмент таблицы индикаторных переменных для вычисления  $Y_{PH}$  с помощью пакета RUMM2020 представлен в таблице 3.

Таблица 3

Значения индикаторных переменных для латентной переменной  $Y_{PH}$

$IP \backslash N$	1	2	3	4	5	6	...	28	29	30
$Y_{P_B}$	0,02	0,0	0,09	0,07	0,11	0,21	...	0,88	0,86	0,91
$Y_{P_T}$	0,03	0,01	0,08	0,06	0,12	0,18	...	0,87	0,9	0,89
$Y_{P_B}$	0,03	0,00	0,07	0,11	0,09	0,19	...	0,81	0,89	0,87
$Z_P$	1	1,4	1,9	2,1	1,8	2,7	...	9,9	9,7	10

Результаты обработки данных таблицы 3 пакетом RUMM 2020 представлены на рисунке 11.

Расчетное критическое значение уровня значимости, характеризующее соответствие данного набора индикаторов модели Раша, при числе степеней свободы  $df=8$ ,  $\chi^2_{критич. Prob} = 0,999$ . Это больше 0,05 (при доверительной вероятности, равной 0,95). Индекс сепарабельности (*Separation Index*) достаточно

высокий и равен 0,995. Коэффициент альфа Кронбаха (*Cronbach Alpha*) также высок и равен 0,997. Мощность (оценка) системы индикаторов (*Power of Test-of-Fit*) оценивается как превосходная (*excellent*).

В процессе работы диалоговой системы RUMM 2020 была получена таблица индикаторных переменных, ранжированная по убыванию значений *Location* (рис. 12).

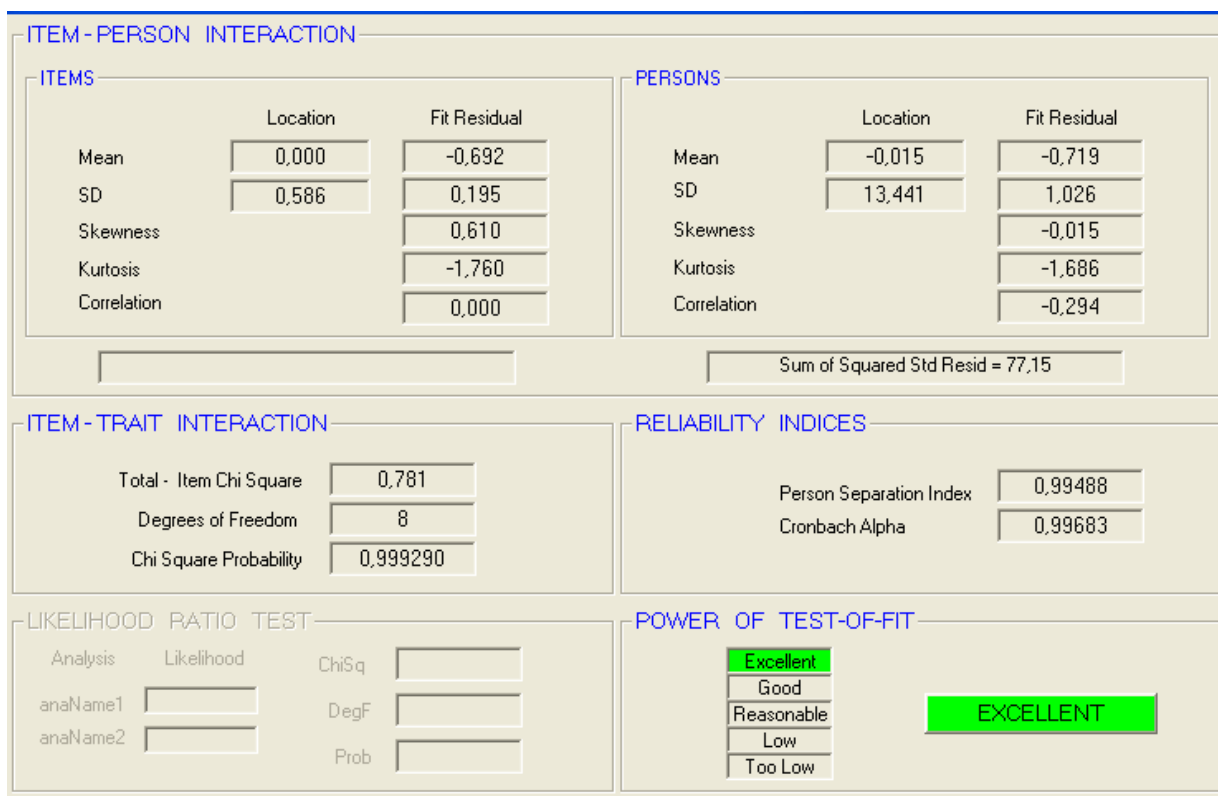


Рис. 11. Скриншот степени соответствия модели Г. Раша

	Seq	Item	Type	Location	SE	FitResid	DF	ChiSq	DF	Prob
1	1	I0001	Poly	0,728	0,450	-0,744	14,25	0,882	6	0,989698
2	2	I0002	Poly	0,162	0,431	-0,762	14,25	0,476	6	0,998117
3	3	I0003	Poly	-0,247	0,423	-0,854	14,25	0,287	6	0,999556
4	4	I0004	Poly	-0,643	0,430	-0,408	14,25	0,882	6	0,989685

Рис. 12. Скриншот таблицы характеристик индикаторных переменных

Из рисунка 12 следует, что все индикаторные переменные имеют показатель  $\chi^2_{критич.}$  Prob > 0,05. Это означает, данный набор индикаторов удовлетворяет модели

Г. Раша и может быть использован для определения латентной переменной.

Характеристические кривые для индикаторов  $Y_{PБ}$ ,  $Y_{PТ}$ ,  $Y_{PВ}$  и  $Z_P$  приведены на рисунках 14-17.

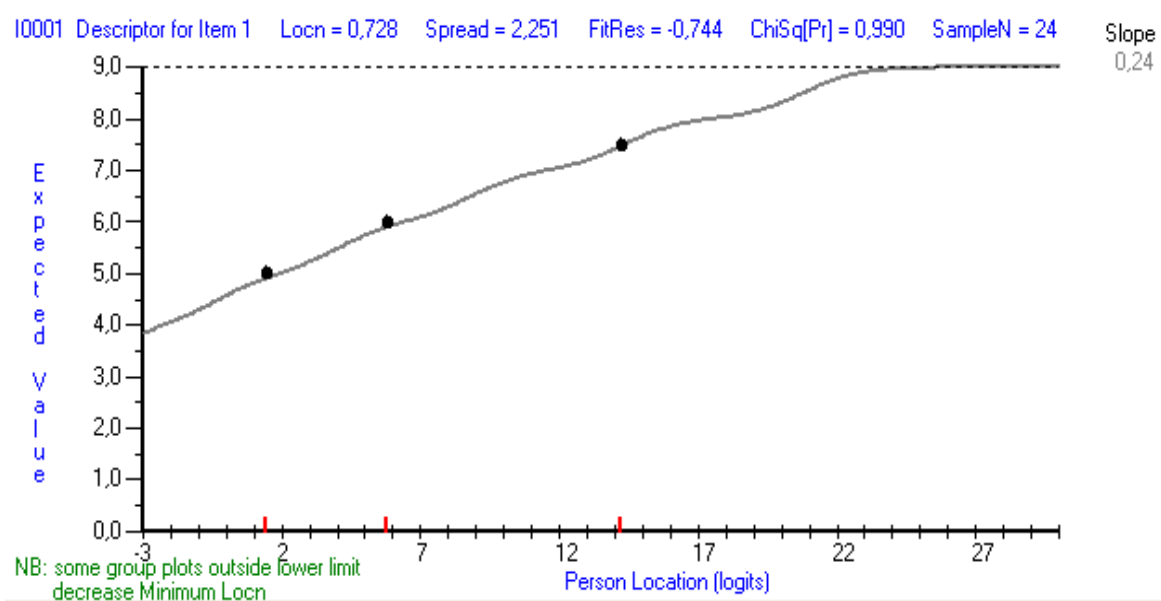


Рис. 14. Характеристическая кривая для индикатора  $Y_{PБ}$  информативного признака (индикатора)

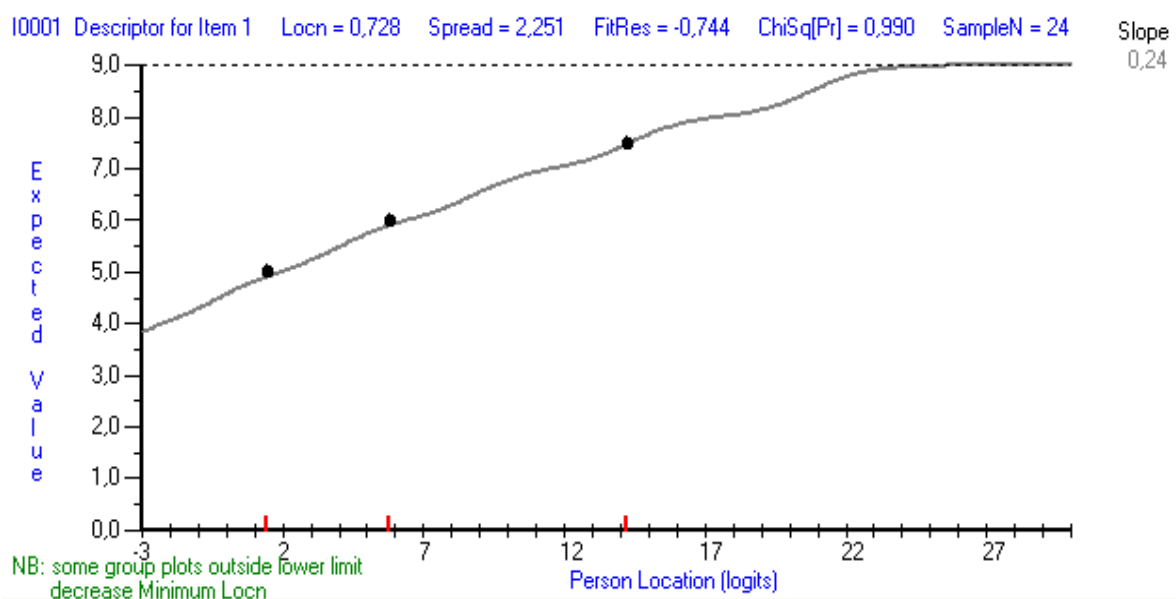


Рис. 15. Характеристическая кривая для индикатора  $Y_{PТ}$  информативного признака (индикатора)

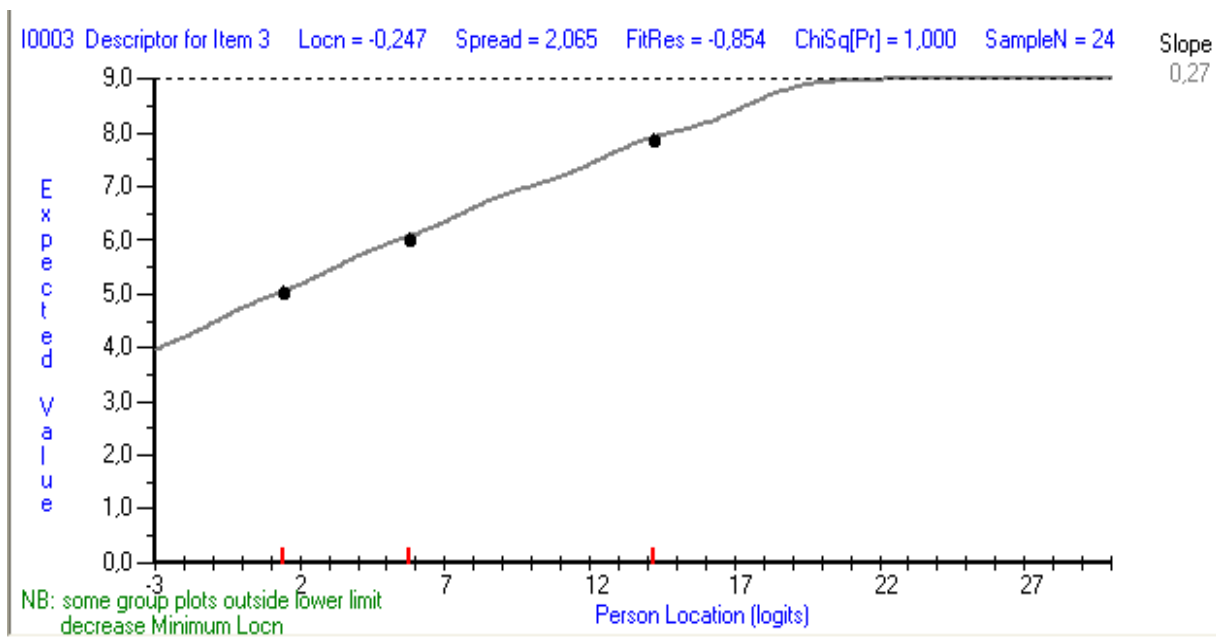


Рис. 15. Характеристическая кривая для индикатора  $Y_{PB}$  информативного признака (индикатора)

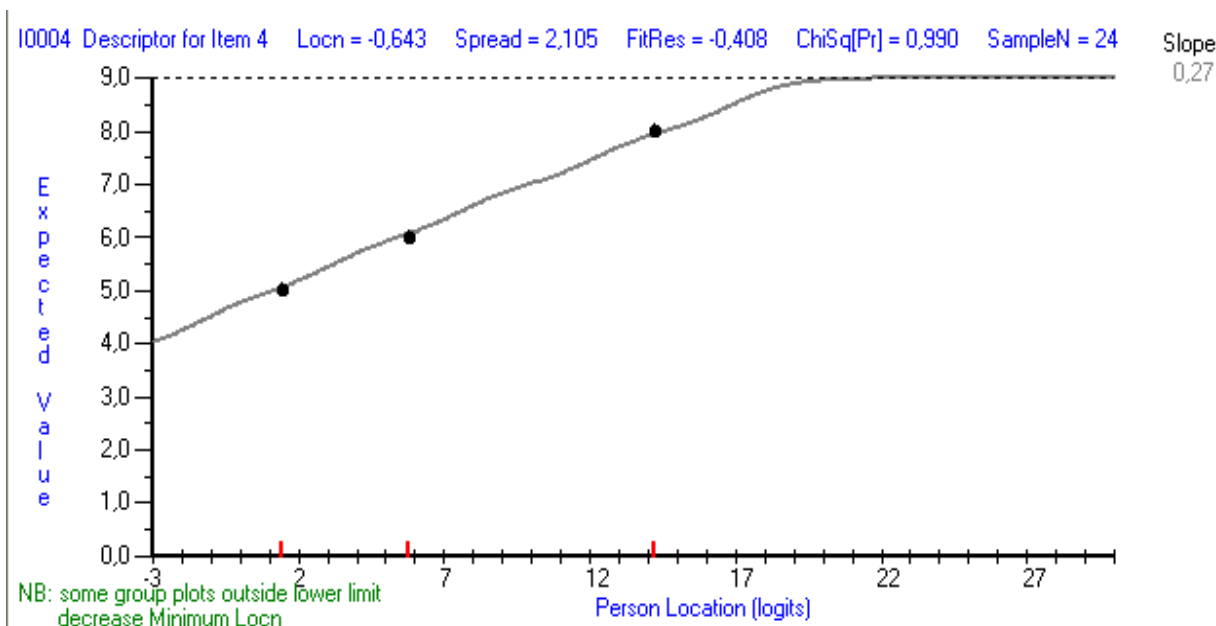


Рис. 16. Характеристическая кривая для индикатора  $Z_P$  информативного признака (индикатора)

Анализ приведённых рисунков по точкам, соответствующим «слабым», «средним» и «сильным» уровням, показывает хорошее совпадение данных с теоретическими моделями Г. Раша.

Гистограмма распределения данных по шкале  $Y_{PHL}$  (длительное ПЭН в логитах) приведена на рисунке 17.

Рисунок 17 аналогичен рисунку 8, что позволяет сделать вывод о наличии

уравнений связи для определения  $Y_{PH}$ , аналогичных (7) и (8):

$$Y_{PH} = fh_L(Y_{PHL}_F) = f_L(Y_{P_B}, Y_{P_B}, Y_{P_T}, Z_P). \quad (11)$$

Аналитически эта зависимость определяется выражением

$$Y_{PH} = 0,024Y_{PHL} + 0,46. \quad (12)$$

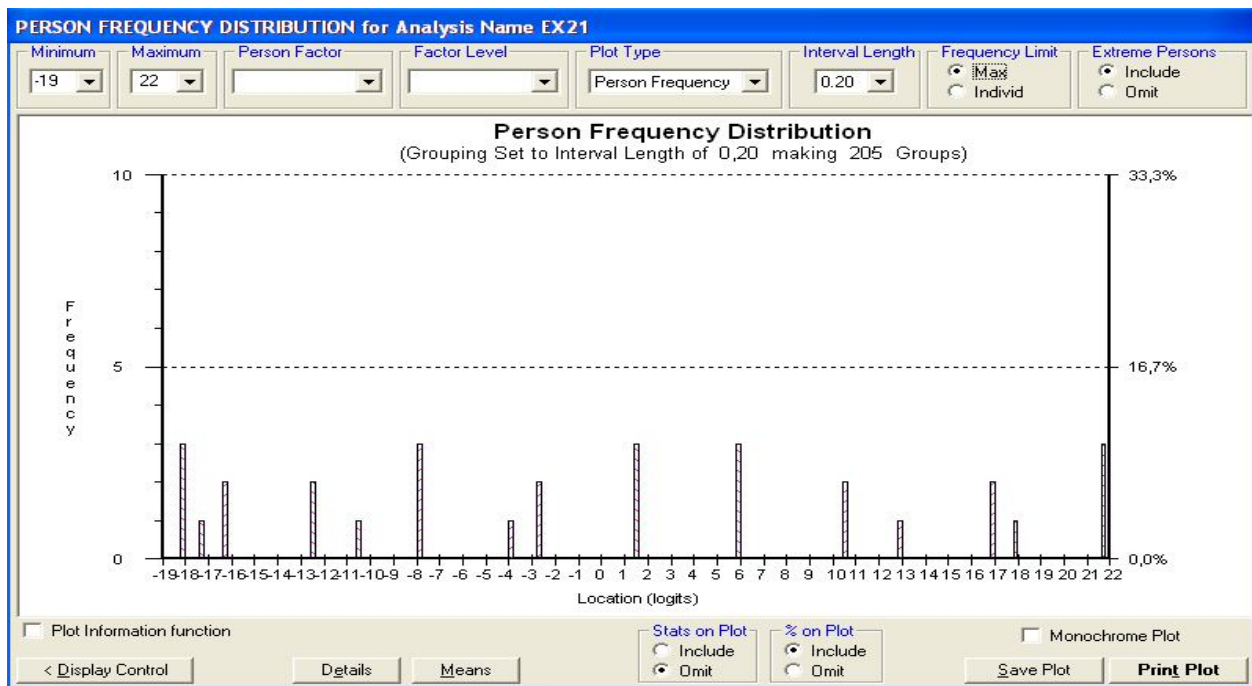


Рис. 17. Скриншот распределения обследуемых по шкале интегрального показателя *YPHL*

Таким образом, в работе показано, что использование теории измерения латентных переменных, в частности модели Г. Раша, позволяет получать математические модели для количественной оценки уровня психоэмоционального напряжения человека.

### Заключение

В работе показано, как, используя модель Г. Раша, можно синтезировать нечёткие решающие правила для оценки такой характеристики организма, как уровень его психоэмоционального напряжения. В серии специально проведённых исследований было показано, что числовые значения показателей  $YPF$  и  $YPH$  могут найти своё применение при решении задач прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики различных заболеваний, при использовании его в качестве дополнительного информативного признака.

Эффективность использования показателя  $YPH$  для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний исследовалась на таких заболеваниях, как патология желудочно-кишечного тракта, нервной системы, костно-

мышечной системы и соединительных тканей. Исследования проводились в экологически неблагоприятном регионе Курской магнитной аномалии [6, 9].

В ходе проведения работы было установлено, что использование такого дополнительного информативного признака, как величина  $YPH$ , улучшает качество прогнозирования и ранней диагностики исследуемых классов заболеваний на  $8 \pm 2\%$ , что позволяет рекомендовать полученную математическую модель к практическому использованию.

### Список литературы

1. Синтез решающих правил для оценки уровня психоэмоционального напряжения и утомления с использованием двумерных классификационных пространств и векторной алгебры / В.И. Серебровский, А.В. Бойцов, А.Н. Шуткин, С.Н. Корневская // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2014. – №5(56). – С. 58-63.
2. Бойцов А.В., Филатова О.И., Корневская С.Н. Классификация функциональных состояний человека с использованием правил нечеткого принятия решений // Оптико-электронные приборы

и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации. Распознавание – 2012: сб. матер. X Междунар. науч.-техн. конф. / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2012. – С. 311-313.

3. Корневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2015. – № 1. – С. 33-35.

4. Корневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №2. – С. 99-103.

5. Интерактивный метод классификации в задачах медицинской диагностики / Н.А. Корневский, С.В. Дегтярев, С.П. Серегин, А.В. Новиков // Медицинская техника. – 2013. – №4. – С. 1-3.

6. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касасбех Р.Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 528 с.

7. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Горбатенко С.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных, для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2008. – №2. – С. 18-24.

8. Корневский Н.А., Руцкой Р.В., Долженков С.Д. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2013. – Т.12, №4. – С. 905-909.

9. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных моделей / Н.А. Корневский, В.И. Серебровский, Н.А. Коптева, Т.Н. Говорухина. – Курск: Изд-во Курск. гос. с-х. ак., 2012. – 231 с.

10. Маслак А.А. Измерение латентных переменных в социально-экономических системах: монография. – М., 2006. – 333с.

11. Титов В.С., Сапитонова Т.Н. Классификация функционального состояния человека и нечеткая оценка его уровня // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №2-3. – С. 320-324.

12. Филатова О.И. Метод, модели и алгоритм анализа и управления функциональным состоянием человека на основе нечетких гетерогенных правил принятия решений: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.17. – Курск, 2011.

13. Andrich D. Advanced Social and Education Measurement. – Perth: Murdoch University, 2001. – 128 p.

14. Getting Started RUMM 2010/Rasch Unidimensional Measurement Models. – Perth: RUMM Laboratory Ltd, 2001. – 87 p.

15. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / N.A. Korenevskiy, R.T. Al-Kasasbeh, F. Ionescou, M. Alshamasin, E. Alkasasbeh, A.P. Smith // IFMBE Proceedings. – 2013. – Vol. 40. – P. 213-216.

16. Smit Fuzzy Determination of The Humans Level of Psycho-Emotional / N. Korenevskiy, Riad Taha Al-Kasasbeh, F. Ionescou, M. Alshamasin, Andrew P. // Mega-Conference on Biomedical Engineering: Proceedings of the 4th-international conferece jn the develjpmnt of biomedical engineering. – Ho Chi Minh City Vietnam, 2012. – P. 354-357.

17. System for Studying Specific Features of Attention and Memory / N.A. Korenevskiy, D.E. Skopin, R.T. Al Kasasbeh, A.A. Kuz'min // Biomedical Engineering Journal. Springer, New York. – 2010. – Vol. 44, N 1. – P. 32-35.

18. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N.A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M.I. Lukashov // Biomedical Engineering. – 2009. – Vol. 43, N4. – P. 187-190.

19. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis / N.A. Korenevsky, S.V. Degtyarev, S.P. Seregin, A.V. Novikov // Biomedical Engineering. November. – 2013. – Vol. 47, Issue 4. – P. 169-172.

20. Korenevskiy N.A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems // Biomedical Engineering Journal. – 2013. – Vol. 42, N 2. – P. 67-72.

21. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medi-

cal Expert Systems // Biomedical Engineering. May. – 2015. – Vol. 49, Issue 1. – P. 46-49.

22. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword bu Benjamin D. Wright). – Chicago: University of Chicago Press, 1980. – 199 p.

23. Smith E.V., Smith M.S. Introduction to Rasch Measurement Theory // Models and Applications. – Marle Grove, Minnesota: JAM Press, 2004. – 689 p.

*Получено 22.06.15*

**N.A. Korenevsky**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

**A. N. Shutkin**, Candidate of Physico-mathematical Sciences, Voronezh Institute of State fire Service (e-mail: anshutkin@mail.ru)

**E. A. Boitcova**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: elena-boitcova@mail.ru)

**E.N. Korenevsky**, Lecturer, Donezk National Technical University

#### **USING THE THEORY OF MEASUREMENT OF LATENT VARIABLES TO ASSESS THE LEVEL OF VOLTAGE PSIHOEMOTSIANALNOGO**

*Discusses the use of the theory of measurement of latent variables based on statistical models G. rush for the tasks of assessing the level of emotional stress.*

**Key words:** *emotional stress, latent variables, informative sign, fuzzy decision rules.*