

## ЗАСТОСУВАННЯ IRT-МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДО АНАЛІЗУ ПСИХОЛОГІЧНОГО ПРОФІЛЮ

\*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

**Анотація.** У роботі досліджено методи статистичного аналізу психологічних профілів, отриманих на підставі проведення психологічних тестів для 800 військовослужбовців. Для тестування було застосовано батарею з восьми відомих тестів, а саме: 4 тести Гілфорда, тест «виключення понять», «переплутані лінії», «компаси», тест Ксенофонтової. Статистичний аналіз побудовано на підставі визначення психологічних показників за методами IRT. На підставі застосування відповідних статистичних критеріїв було обрано такі математичні моделі тестів: модель Раша, а також 1 PL, 2 PL і 3 PL-моделі. Для комп'ютерної обробки застосовано мову R, а саме, пакет ltm. Розраховано латентні параметри як респондентів, так і відповідних індикаторів (запитань тесту). Основну увагу було приділено аналізу психологічних показників, а саме: побудові психологічних профілів та ранжуванню респондентів за цими профілями. Для ранжування респондентів застосовано як відомий інтегральний лінійний показник, так і сучасні методи багатокритеріальної оптимізації TOPSIS та VIKOR з певними ваговими коефіцієнтами. За допомогою підбору експертами відповідних вагових коефіцієнтів можна виділити ті риси психологічного стану людини, які відповідають певним цілям. Було використано функції VIKOR, TOPSISLinear (скалярна процедура нормалізації), TOPSISVector (векторна процедура нормалізації) з пакета MCDM. Розглянуто приклади, в яких задано різні набори вагових коефіцієнтів. Проаналізовано результати ранжування за інтегральним показником та методами TOPSIS та VIKOR. Отримані результати у цілому співпадають, але результати, отримані методами багатокритеріальної оптимізації, є більш узгодженими, а, отже, і більш достовірними.

**Ключові слова:** психологічні тести, тест Гілфорда, тест «виключення понять», «переплутані лінії», «компаси», тест Ксенофонтової, психологічний профіль, IRT, модель Раша, 1,2,3PL-моделі, латентні параметри, TOPSIS, VIKOR, мова статистичного програмування R.

**Аннотация.** В работе исследованы методы статистического анализа психологических профилей, полученных на основании проведения психологических тестов для 800 военнослужащих. Для тестирования была применена батарея из восьми известных тестов, а именно: 4 теста Гилфорда, тест "исключения понятий", «перепутанные линии», «компасы», тест Ксенофонтовой. Статистический анализ построен на основании определения психологических показателей методами IRT. На основании применения соответствующих статистических критериев были отобраны следующие математические модели тестов: модель Раши, а также 1 PL, 2 PL и 3 PL-модели. Для компьютерной обработки применен язык R, а именно, пакет ltm. Рассчитаны латентные параметры как респондентов, так и соответствующих индикаторов (вопросов теста). Основное внимание было уделено анализу психологических показателей, а именно: построению психологических профилей и ранжированию респондентов по этим профилям. Для ранжирования респондентов применены как известный интегральный линейный показатель, так и современные методы многокритериальной оптимизации TOPSIS и VIKOR с определенными весовыми коэффициентами. С помощью подбора экспертами соответствующих весовых коэффициентов можно выделить те черты психологического состояния человека, которые отвечают определенным целям. Были использованы функции VIKOR, TOPSISLinear (скалярная процедура нормализации), TOPSISVector (векторная процедура нормализации) из пакета MCDM. Рассмотрены примеры, в которых заданы разные наборы весовых коэффициентов. Проанализированы результаты ранжирования по интегральному показателю и методами TOPSIS и VIKOR. Полученные результаты в целом совпадают, но результаты, полученные методами многокритериальной оптимизации, являются более согласованными, а, следовательно, и более достоверными.

**Ключевые слова:** психологические тесты, психологический профиль, тест Гилфорда, тест «исключения понятий», «перепутанные линии», «компасы», тест Ксенофонтовой, IRT, модель Раши,

1,2,3 PL-моделі, латентні параметри, TOPSIS, VIKOR, язык статистического программирования R.

**Abstract.** The methods of statistical analysis of psychological profiles obtained on the basis of psychological tests for 800 military personnel were investigated in the paper. For testing, a battery of eight well-known tests was applied, namely: four Guilford tests, the «exclusion concept» test, the «confused lines», the «compasses», the Xenophon test. Statistical analysis is based on the determination of psychological indicators using IRT methods. Based on the application of relevant statistical criteria, the following mathematical models of tests were selected: the Rushsa model, as well as 1 PL, 2 PL and 3 PL-models. The language R is used for computer processing, namely, the ltm package. The latent parameters of both respondents and corresponding indicators (test questions) are calculated. The main attention was paid to the analysis of psychological indicators, namely, the construction of psychological profiles and ranking of respondents according to these profiles. For ranking the respondents, both the well-known integral linear indicator and the modern multi-criteria optimization methods TOPSIS and VIKOR with certain weight coefficients were used. With the help of experts selecting appropriate weight coefficients, it is possible to identify those features of a person's psychological state which corresponds to the specific goals. The functions VIKOR, TOPSISLinear (scalar normalization procedure), TOPSISVector (vector normalization procedure) from the MCDM package were used. The examples in which different sets of weight coefficients were considered. The results of ranking by integral indicator and TOPSIS and VIKOR methods were analyzed. The obtained results coincide in general, but the results obtained by multicriteria optimization methods are more consistent, and, consequently, more reliable.

**Keywords:** psychological tests, psychological profile, Guilford test, «exclusion concept» test, confused lines, «compasses», Xenophon test, IRT, Rushsa model, 1,2,3 PL-models, latent parameters, TOPSIS, VIKOR, statistical programming R language.

## 1. Вступ

Тестове психологічне опитування використовується для дослідження психологічного стану людини в багатьох галузях людської діяльності: психології, психіатрії, професійному відборі тощо. Часто результатом такого тестування є визначення певних кількісних психологічних показників. Очевидно, що таких психологічних показників може бути достатньо багато, причому вони можуть мати зовсім різну та навіть суперечливу спрямованість.

Метою статті є удосконалення методів аналізу психологічних профілів, отриманих тестуванням, на підставі застосування IRT-моделей та алгоритмів багатокритеріальної оптимізації.

## 2. Постановка проблеми

Психологічним профілем людини будемо називати впорядкований набір психологічних показників, який може графічно зображуватись у вигляді ламаної лінії результатів виконання певної послідовності психологічних тестів. Побудований за тестовим опитуванням психологічний профіль людини використовується дуже широко: при професійному відборі, при прийомі на роботу, при наборі у військові ВНЗи, під час призову на військову службу.

Оскільки при побудові психологічного профілю або комплексній психологічній діагностиці необхідно визначити різні якості людини, тому часто застосовують батарею (набір) тестів. Ще в 40-х роках минулого століття службою зайнятості США була розроблена батарея загальних здібностей (GATB) для професійного відбору на вакантні робочі місця; батарея тестів спеціальних здібностей (SATB) для консультантів у державних установах. Ці тести були адаптовані, перекладені і їх досі використовують.

Для комплексної діагностики розроблено Minnesota multiphasic personality inventory (MMPI) (Міннесотський багатопрофільний особистісний опитувальник, МБОО) у модифікації Березіна Ф.Б., стандартизований метод дослідження особистості (СМДО) у модифі-

кації Собчик Л.Н. [1] Ці методики мають ряд переваг: вони відображають самопочуття опитуваного, його чесність, особисті якості, рівень активності, направленість інтересів. Таким методикам характерні факторна структура і градація шкал, підшкал, що дає можливість якісно диференціювати респондентів.

Таким чином, психологічний профіль ми можемо формувати як на підставі опитування за батареєю тестів, так і обираючи певні підшкали у багатопрофільному опитувальнику.

Маючи психологічний профіль, створений за  $n$  психологічними показниками, можна побудувати лінійний інтегральний показник психологічного стану людини:

$$I_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n w_i x_i,$$

де  $w_i$  – вага окремого тесту ( $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ , значення визначаються групою експертів);

$n$  – кількість тестів у батареї тестів;

$x_i$  – психологічний показник респондента, визначений за певним тестом.

При цьому вагові коефіцієнти дозволяють виділяти ті показники психологічного профілю, які відповідають певним цілям.

Особливу роль в аналізі тестів відіграють математичні статистичні методи. Їх умовно розділяють на класичну теорію тестів (КТТ) і сучасні методи параметризації тестових завдань (IRT) [2]. КТТ та IRT взаємодоповнюють одне одного, у їх поєднанні можливий якісний аналіз результатів тестування.

У багатьох країнах апарат IRT широко застосовується не тільки у психології, а й в усіх сферах науки, де використовується тестова система. Наприклад, у [3] моделі IRT застосовувались для аналізу тесту на соціальний інтелект, в [4] за допомогою моделі Раша проаналізовано якість програмного забезпечення. В [5] досліджується необхідність застосування IRT для покращення психодіагностичних методик.

В Україні, в основному для аналізу результатів тестування, якості тестових завдань, а також визначення психологічних показників людини (рівня підготовленості, рівня тривоги, самодостатності та ін.), використовуються готові фіксовані методики визначення результатів тестування разом із класичною теорією тестів (КТТ). Але вже у [6], [7] моделі IRT використали для створення тестових завдань, а в [8] за допомогою політомічних моделей було проаналізовано тест щодо виявлення рівня автентичності людини.

Відмітимо, що більшість методик, які застосовуються до визначення психологічних профілів, є достатньо поширеними і відомими. До того ж відомими є відповідні ключі «правильних» відповідей, вивчивши які респонденти можуть досягнути бажаного результату. Так, наприклад, широке застосування відомого тесту Гілфорда з доступними ключами з метою професійного відбору призвело до недостовірних результатів [9]. Тому, поперше, методики потребують постійних змін та модифікацій. По-друге, на відміну від використання готових, фіксованих ключів визначення психологічних показників, які проте можуть бути скопійовані з Інтернету, IRT дає можливість оперативно визначати психологічні показники згідно з результатами тестування за оновленими та модифікованими методиками.

Зрозуміло, що інтегральний показник  $I_{\text{заг}}$  є лінійною скалярною функцією психологічних показників. Наразі існують нові, відмінні від найпростішого лінійного показника, алгоритми багатокритеріальної класифікації та ранжування багатовимірних даних, такі, наприклад, як VIKOR та TOPSIS, які можна застосовувати для ранжування респондентів за їхніми психологічними профілями з відповідними ваговими коефіцієнтами.

Методики опитування є достатньо розробленими, існує їх велика кількість. Нами ставиться питання про удосконалення процедури аналізу результатів психологічного тестування з застосуванням апарату IRT та методів багатокритеріальної оптимізації. При цьому класифікацію (ранжування) респондентів ми розглядаємо у таких напрямках:

1. Класифікація за інтегральним показником  $I_{заг}$ , обчисленим за психологічними показниками респондентів, визначеними IRT-методами.
2. Багатокритеріальна оптимізація за відповідними методиками.
3. Порівняння відповідних результатів.

### 3. Методи досліджень

Сучасна теорія тестування (Item Response Theory) – це набір статистичних методів, які дозволяють оцінити ймовірність правильної відповіді досліджуваних на завдання різної складності. Основна суть IRT полягає у впровадженні двох множин латентних параметрів, одна з яких характеризує показник респондентів, а інша характеризує самі тестові питання (індикатори). Значення латентних параметрів визначають за результатами тестування шляхом застосування відповідних математичних процедур. Найпростішою моделлю є модель Г.Раша з дихотомічною формою відповіді («так» або «ні») [2]. Логічним розвиненням моделі Раша є 2,3 PL-моделі, в яких, крім параметрів складності і підготовленості, є ще параметри розрізняльної спроможності та угадування, які було використано у даному дослідженні. Але можливе й застосування політомічних моделей та моделей із множинним вибором. (Про застосування моделей IRT до аналізу психологічних тестів див. [8, 9]).

Моделі IRT відкривають ширші можливості для аналізу тестових даних. Такі моделі дозволяють більш точно розділяти як досліджуваних осіб, так і давати більш точну оцінку якості питань (індикаторів) тестів, тобто знаходити питання опитувальника, які потребують допрацювання або видалення. Такими є питання, які або надто незрозумілі для респондентів, або мають високий відсоток угадування «правильної» відповіді, або якими не покривається вся шкала Лайкерта (респонденти відповідають тільки граничним значенням шкали).

Але, на нашу думку, найкраще методи IRT дозволяють диференціювати респондентів. Адже, зазвичай, при проходженні певного психологічного тестування респондента, в залежності від балів та ключів, відносять до певної групи. Таких груп, як правило, може бути п'ять – дев'ять. Людей, яких віднесли до однієї групи, вважають однаковими за певним показником. Це не завжди є правильним, оскільки респонденти можуть одержати однакову суму балів, відповідаючи на різні за своїм змістом і навантаженням питання. Цього намагаються уникнути, використовуючи комплексні діагностики: ММРІ, СМДО тощо.

Нами пропонується розв'язувати задачу ранжування респондентів за психологічними профілями, побудованими на підставі IRT за допомогою алгоритмів багатокритеріального прийняття рішень.

Прийняття рішень із кількома критеріями multiple criteria decision making (MCDM) можна описати як процес вибору однієї з набору доступних альтернатив або ранжування альтернатив, заснованих на множині критеріїв, які зазвичай мають різні значення. Протягом другої половини 20-го сторіччя MCDM був одним із найбільш швидко зростаючих напрямів досліджень, оскільки було запропоновано багато нових методів прийняття рішень.

Серед запропонованих методів багатокритеріального прийняття рішень у даній роботі розглянемо методи TOPSIS (Technique for Ordering Preference by Similarity to Ideal Solution, Hwang & Yoon, 1981) [10] і VIKOR (VIsekriterijumska optimizacija i KOmpromisno Resenje in Serbian, Opricovic, 1998).

Типова задача прийняття рішення з кількома критеріями може бути представлена в такому вигляді:

$$X = (x_{ij})_{m \times n}, W = (w_j)_n,$$

де  $X$  – матриця прийняття рішень,  $x_{ij}$  – значення  $j$ -го критерію для  $i$ -ої альтернативи,

$W$  – ваговий вектор,  $w_j$  – вага  $j$ -го критерію,  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,  $m$  – кількість порівнюваних альтернатив,  $j = \overline{1, n}$ ,  $n$  – кількість критеріїв, за якими здійснюється порівняння.

У нашому випадку:

$X = (x_{ij})_{m \times n}$  – матриця, рядками якої є психологічні профілі;

$x_{ij}$  – значення психологічного показника для  $j$ -го критерію для  $i$ -го респондента;

$W = (w_j)_n$  – вагові коефіцієнти;

$n$  – кількість показників у профілі;

$m$  – кількість респондентів.

### А. Метод TOPSIS

Метод TOPSIS – один із найбільш поширених методів MCDM і базується на тому, що найкраща альтернатива повинна бути найближчою до ідеального розв'язку і найдалішою до антиідеального.

На першому кроці здійснюється нормалізація вхідних даних матриці  $X$  при використанні однієї із двох форм:

1) лінійна нормалізація:

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - x_j^-}{x_j^* - x_j^-}, & j \in \Omega_{\max} \\ \frac{x_j^* - x_{ij}}{x_j^* - x_j^-}, & j \in \Omega_{\min}, \end{cases}$$

де  $x_j^*$  – найбільше значення,  $x_j^-$  – найменше значення  $j$ -го критерію,  $\Omega_{\max}$  і  $\Omega_{\min}$  – множини критеріїв, для яких кращими показниками є максимальне і мінімальне значення відповідно;

2) векторна нормалізація:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{kj}^2}}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}.$$

На наступному кроці визначають ідеальний  $A^+$  та антиідеальний  $A^-$  розв'язки:

$$A^+ = \{r_1^+, \dots, r_n^+\} = \{(max_i r_{ij}, j \in \Omega_{\max}), (min_i r_{ij}, j \in \Omega_{\min})\},$$

$$A^- = \{r_1^-, \dots, r_n^-\} = \{(min_i r_{ij}, j \in \Omega_{\max}), (max_i r_{ij}, j \in \Omega_{\min})\}.$$

Враховуючи важливості показників  $w_j$ , окремо обчислюють відстані до ідеальної та антиідеальної точок за формулами

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [w_j (r_{ij} - r_j^+)]^2},$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [w_j (r_{ij} - r_j^-)]^2}.$$

Нарешті, обчислюють відносну відстань для кожної альтернативи відносно ідеальної та антиідеальної точок:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, C_i \in [0; 1], i = \overline{1, m}.$$

Зауважимо, що  $C_i = 1$  тоді і лише тоді, коли відповідна альтернатива має найкращі показники, і  $C_i = 0$ , якщо найгірші.

Найкращою є альтернатива  $A_{TPS}^*$  з найбільшим значенням  $C_i$ :

$$A_{TPS}^* = \{A_i : \max_{1 \leq k \leq m} C_k = C_i\}.$$

Метод TOPSIS використовується, зокрема, під час вибору ефективних методів зберігання медичної інформації, заходів з муніципального управління, управління знаннями для перетворення їх у конкурентну перевагу тощо.

## Б. Метод VIKOR

Метод прийняття рішення VIKOR був розроблений із метою зменшення впливу ефекту компенсації, тобто ситуації, коли гірші значення деяких показників можуть бути компенсовані кращими значеннями інших показників. Він базується на застосуванні метрики Мінковського:

$$L_{p,i} = \left\{ \sum_{j=1}^n w_j^p \left( \frac{x_j^* - x_{ij}}{x_j^* - x_j^-} \right)^p \right\}^{\frac{1}{p}},$$

де  $x_j^*$  і  $x_j^-$  – найкраще та найгірше значення  $j$ -го критерію відповідно,  $p \in [1, \infty)$ .

Метод VIKOR використовує дві характеристики метрики для формулювання рейтингу,  $p = 1$  і  $p \rightarrow \infty$ . Для порівняння спочатку розраховують значення показника  $S_i$ , який характеризує наближеність альтернативи до найкращої точки за формулою

$$S_i = \sum_{j=1}^n \omega_j \frac{x_j^* - x_{ij}}{x_j^* - x_j^-} \quad p = 1, i = \overline{1, m},$$

а потім значення показника  $R_i$ , який характеризує максимальну віддаленість альтернативи від найкращої точки за показником з найбільшою віддаленістю.

$$R_i = \max_j \omega_j \frac{x_j^* - x_{ij}}{x_j^* - x_j^-}, \quad p \rightarrow \infty.$$

Метод VIKOR базується на ідеї ідеального та компромісного рішення, а загальний індекс рейтингу для кожної альтернативи знаходять за формулою

$$Q_i = v \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*},$$

де

$$S^* = \min_i S_i,$$

$$S^- = \max_i S_i,$$

$$R^* = \min_i R_i,$$

$$R^- = \max_i R_i$$

– граничні значення показників і  $v$  – показник стратегії більшості критеріїв, значення якого зазвичай встановлюється рівним 0,5.

Альтернативи сортуються за значеннями  $S$ ,  $R$  та  $Q$  у порядку зростання. Найбільш прийнятною вважають альтернативу  $A'$  з мінімальним значенням  $Q$ , якщо виконуються дві додаткові умови (Orpíovic & Tzeng, 2004) [11]:

C1. Прийнятна перевага.

Умова C1 виконується, якщо виконується таке співвідношення:

$$Q(A'') - Q(A') \geq \frac{1}{m - 1},$$

де  $A''$  є альтернативою, яка має другу позицію в рейтингу за  $Q$ , а  $m$  – кількість альтернатив.

C2. Прийнятна стабільність у прийнятті рішень.

Альтернатива  $A'$  також повинна бути найкращою за  $S$  або  $R$ . Якщо одна з цих умов не виконується, то замість найбільш прийнятної альтернативи пропонується набір компромісних рішень із перевагою. Цей набір складається з:

– альтернатив  $A'$  і  $A''$ , якщо тільки умова C2 не виконується,

або

– альтернативи  $A', A'', \dots, A^n$ , якщо умови C1 та C2 не виконуються, де  $A^n$  визначається за співвідношенням

$$Q(A^n) - Q(A') \geq \frac{1}{m - 1}.$$

Метод VIKOR використовують на практиці для оптимізації рішень та складних систем, зокрема, під час відбору кандидатів для підвищення кваліфікації, підвищення ефективності виробничих процесів, оцінювання банківських установ тощо.

Очевидно, що реалізувати відповідний статистичний аналіз можливо лише за допомогою методів комп'ютерної статистики. Для цього нами було обрано мову статистичного програмування R [12] (cran.r-project.org), в якій реалізовано відповідні алгоритми IRT-аналізу та багатокритеріальної оптимізації.

#### 4. Приклади застосування методики

Розглянемо приклад застосування описаної вище методики до найкращого ранжування респондентів на підставі їхніх психологічних профілів. Було проведено тестування 800 військовослужбовців з вищою освітою віком від 30 до 50 років. Кожному респонденту було присвоєно логін (комбінація цифр), цей логін у подальшому використовувався для деперсоналізації респондентів.

Тестування включало в себе вісім тестів:

1) – 4) Тест Гілфорда на соціальний інтелект (чотири субтести) [9].

- 5) Тест «виключення понять» – дослідження здібності до абстрагування, оперування вербальними поняттями [13].
- 6) Тест «переплутані лінії» – оцінка рівня концентрації та стійкості уваги, здатності зосереджуватися в умовах впливу перешкод [14].
- 7) Тест «компаси» – вивчення здатності обстежуваних оперувати просторовими уявленнями [14].
- 8) Тест Ксенофонтвої – визначення рівня суб’єктивного контролю [15].

Для кожного тесту було вибрано адекватну модель IRT відповідно до формату тесту. Латентні параметри було оцінено за допомогою функцій *rasch* (Раш, 1-PL), *ltm* (2PL), *trm* (3PL) пакета *ltm* сайту *cran.r-project.org*. Було визначено латентні параметри підготовленості (психологічні показники) кожного респондента для кожного тесту. Відбір моделі визначався згідно з відповідним критерієм функцією *fit.item* пакета *ltm*. Відповідні показники наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Психологічні показники тестів

Номер тесту	IRT-модель	Психологічний показник
1	3-PL	$x_{i1}$ – рівень пізнання результатів поведінки
2	Раша	$x_{i2}$ – рівень пізнання фактів поведінки
3	Раша	$x_{i3}$ – рівень пізнання змін поведінки
4	Раша	$x_{i4}$ – рівень пізнання систем поведінки
5	2-PL	$x_{i5}$ – рівень абстрагування
6	2-PL	$x_{i6}$ – рівень концентрації уваги
7	Раша	$x_{i7}$ – здатність оперувати просторовими уявленнями
8	2-PL	$x_{i8}$ – рівень суб’єктивного контролю

За цими показниками було побудовано психологічні профілі. Всі вісім тестів пройшло 755 військовослужбовців. Тобто  $i = 1,755$ .

Далі наведемо прості приклади умовного ранжування респондентів, задаючи відповідні вагові коефіцієнти за лінійним інтегральним показником або за алгоритмами багатокритеріальної оптимізації з тими ж ваговими коефіцієнтами. Нами використано функції *VIKOR*, *TOPSISLinear* (скалярна процедура нормалізації), *TOPSISVector* (векторна процедура нормалізації) з пакета *MCDM*.

1. Наприклад, після проведення наведеного вище тестування було вирішено відібрати 10 військовослужбовців для виконання розвідувальної операції. Для такої задачі експертами було запропоновано надати найвищої ваги тестам з номерами 3, 5, 7, 8. Тому перший, другий, четвертий, шостий тести одержали вагу 0,075, третій і сьомий – 0,15, п’ятий і восьмий – 0,2.

Нижче наведено фрагмент програми пошуку десяти найкращих респондентів за обраними вище тестами та заданими ваговими коефіцієнтами:

```
library(MCDM)
b1<-read.xlsx("D:/1_1_1.xls",header =F,rowIndex = c(2:755),colIndex =
c(1,2,4,6,8,10,12,14,16),sheetIndex = 1)
b2<-b1[complete.cases(b1),]
b<-as.matrix(b2[,-1])
w<-c(0.075,0.075,0.15,0.075,0.2,0.075,0.15,0.2)
```

```

a<-VIKOR(b,weights=w,cb=rep("max",8),v=0.5)$Ranking
best<-numeric(10)
for(i in 1:10)
best[i]<-b2[which(a==i),1]
b2[best,1]
a1<-TOPSISLinear(b, weights=w, cb=rep("max",8))$Ranking
best1<-numeric(10)
for(i in 1:10)
best1[i]<-b2[which(a1==i),1]
best2<-numeric(10)
for(i in 1:10)
best2[i]<-b2[which(a2==i),1]
b2[best2,1]
s<-b%*%w
s1<-rank(s)
s3<-755-s1
best3<-numeric(10)
for (i in 1:10)
best3[i]<-b2[which(s3==i),1]
b2[best3,1]

```

У табл. 2 наведено логіні респондентів з першими десятима показниками.

Таблиця 2 – Результати тестування для прикладу 1

Метод\Ранг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VICOR	1019	1014	1409	1058	855	1080	942	532	1333	601
TOPSISLinear	1019	1014	1409	1058	944	532	855	949	581	942
TOPSISVector	1019	1014	1058	1409	1080	532	944	1333	855	581
$I_{заг}$	1019	1014	1058	1409	1080	1012	1432	949	1030	1308

2. Розглянемо іншу задачу. Необхідно замінити п'ять вакантних робочих посад у відділі, який працює з секретною документацією. Найбільшої ваги надали 6, 8 тестам. Для цього експерти визначили такі значення для ваги показників: перший, п'ятий і сьомий – 0,1, другий і четвертий – 0,075, третій – 0,05, шостий і восьмий – 0,25. Відповідний фрагмент програми:

```

w<-c(0.1,0.075,0.05,0.075,0.1,0.25,0.1,0.25)
a<-VIKOR(b,weights=w,cb=rep("max",8),v=0.5)$Ranking
best<-numeric(5)
for (i in 1:5)
best[i]<-b2[which(a==i),1]
b2[best,1]
a1<-TOPSISLinear(b, weights=w, cb=rep("max",8))$Ranking
best1<-numeric(5)
for(i in 1:5)
best1[i]<-b2[which(a1==i),1]
b2[best1,1]
a2<-TOPSISVector(b, weights=w, cb=rep("max",8))$Ranking
best2<-numeric(5)
for (i in 1:5)

```

```

best2[i]<-b2[which(a2==i),1]
b2[best2,1]
s<-b%*%w
s1<-rank(s)
s3<-755-s1
best3<-numeric(5)
for (i in 1:5)
best3[i]<-b2[which(s3==i),1]
b2[best3,1]

```

Таблиця 3 – Результати тестування для прикладу 2

Метод\Ранг	1	2	3	4	5
VICOR	1409	1404	608	942	1308
TOPSISLinear	1409	1404	1308	404	608
TOPSISVector	1409	1404	1308	1019	1058
$I_{заг}$	1019	1409	1014	1058	1308

3. У результаті тестування необхідно було звільнити 20 військовослужбовців із найгіршими показниками. Експерти надали кожному тесту однакової ваги.

```

w<-c(rep(1/8,8))
a<-VIKOR(b,weights=w,cb=rep("max",8),v=0.5)$Ranking
bad<-numeric(20)
for (i in 1:20)
bad[i]<-b2[which(a==max(a)-i+1),1]
b2[bad,1]
a1<-TOPSISLinear(b, weights=w, cb=rep("max",8))$Ranking
bad<-numeric(20)
for (i in 1:20)
bad[i]<-b2[which(a1==max(a)-i+1),1]
b2[bad,1]
a2<-TOPSISVector(b, weights=w, cb=rep("max",8))$Ranking
bad<-numeric(20)
for (i in 1:20)
bad[i]<-b2[which(a2==max(a)-i+1),1]
b2[bad,1]

```

Таблиця 4 – Результати тестування для прикладу 3

Метод\Ранг	755	754	753	752	751	750	749	748	747	746
VICOR	1423	429	875	1410	173	401	304	1001	317	1135
TOPSISLinear	429	401	1423	1287	1001	304	814	173	875	1388
TOPSISVector	429	1001	401	1423	875	1287	173	1410	422	1388
$I_{заг}$	1423	429	875	1410	173	1001	401	1287	1388	1336
Метод\Ранг	745	744	743	742	741	740	739	738	737	736
VICOR	310	664	14 15	227	1336	634	1004	764	393	1170
TOPSISLinear	1336	240	422	1410	1141	342	830	492	1262	1135
TOPSISVector	683	347	227	240	304	1262	1141	393	1037	1135
$I_{заг}$	304	422	342	1135	1262	317	393	227	1321	240

З результатів роботи програм видно, що, хоча різні методи дають іноді різне ранжування людей, але множини респондентів, відібраних для кожного прикладу на підставі трьох критеріїв, в основному, співпадають.

## 5. Висновки

1. У побудові психологічного профілю цілком доречно застосовувати моделі IRT для визначення психологічних показників, що забезпечує більш точне ранжування респондентів порівняно зі стандартними ключами. Крім того, застосування моделей IRT дозволяє аналізувати якість самих опитувальників, питання, яке залишилось за межами цієї роботи.
2. Як вже відзначалось, більшість методик, що застосовуються до визначення психологічних профілів, є широко відомими разом з ключами «правильних» відповідей. Тому, на нашу думку, методики потребують постійного оновлення, і саме IRT дозволяє ефективно визначати як психологічні показники, так і якість оновлених методик за результатами тестування.
3. Оскільки результати застосування алгоритмів багатокритеріальної оптимізації VIKOR і TOPSIS є більше узгодженими між собою, ніж інтегральний показник, це дозволяє більше довіряти саме їм, а, отже, більш ефективно ранжувати респондентів за сукупністю показників психологічного профілю.
4. На нашу думку, враховуючи сутність алгоритму, для задач, пов'язаних із професійним відбором, більше підходить метод VIKOR.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Собчик Л.Н. Стандартизированный многофакторный метод исследования личности (СМИЛ). *Практическое руководство к традиционному и компьютерному вариантам теста*. Боргес, 2009. 256 с.
2. Linden W., Hambleton R. Handbook of modern item response theory. New York: Springer, 1997. 503 p.
3. Chermahini S. A., Hickendorff M., Hommel B. Development and validity of a Dutch version of the Remote Associates Task: An item-response theory approach. *Thinking Skills and Creativity*. 2012. Vol. 7, N 3. P. 177–186.
4. Моисеев С.И., Черная Ю.В., Паршина Е.В. Модель оценки качества программного обеспечения, основанная на методе Раша оценки латентных переменных. *Современные технологии разработки программного обеспечения, Вестник ВГУ. Системный анализ и информационные технологии*. 2016. № 1. С. 102–109.
5. Цидик Л.И. Факторная структура опросника невротических и неврозоподобных расстройств. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2017. № 2. С. 171–175.
6. Мазорчук М.С., Добряк В.С., Гончарова К.А. Оценка параметров теста на основе модели IRT. *Системи обробки інформації*. 2010. № 7 (88). С. 121–125.
7. Диховичний О.О., Дудко А.Ф. Практичний аналіз якості тестів з вищої математики. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Педагогіка*. Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2014. Вип. 32. С. 73–78.
8. Dykovichnyi O., Zlyvkvov V., Kruglova N., Lukomska S., Kotukh O. Using the multidimensional models to the teacher authenticity scale adaptation. *Actual Problems of Psychology*. 2018. Vol. 14, N 1. P. 137–146.
9. Диховичний О.О., Круглова Н.В., Москальов І.О. Використання математичних моделей для аналізу результатів психологічного тесту Гілфорда. *Mathematics in Modern Technical University*, 2018, № 1. С. 79–92.
10. Hwang C.L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Berlin: Springer-Verlag, 1981. 269 p.
11. Opricovic S., Tzeng G.-H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*. 2004. Vol. 156. P. 445–455.
12. URL: <http://cran.us.r-project.org>.

13. Исключение лишнего. *Альманах психологических тестов*. М., 1995. С. 143–152.
14. Методы исследования восприятия, внимания и памяти: Руководство для практических психологов / под ред. Е.А. Андронникова, Е.В. Заика. Харьков, 2011. 161 с.
15. Ксенофонтова Е.Г. Исследование локализации контроля личности – новая версия методики Уровень субъективного контроля. *Психологический журнал*. 1999. Т. 20, № 2. С. 103–114.

*Стаття надійшла до редакції 26.02.2019*