

К.С. НАВРОЦЬКА, асп., ВНТУ, Вінниця,
Д.Х. ШТОФЕЛЬ, канд. техн. наук, доц., ВНТУ, Вінниця,
С.В. КОСТИШИН, канд. техн. наук, ст. викл., ВНТУ, Вінниця,
В.І. МАКОГОН, асис., ВНТУ, Вінниця

АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ ТЕСТУВАННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ КОГНІТИВНИХ ФУНКЦІЙ ЛЮДИНИ

В статті розглянутий процес організації багаторівневого адаптивного тестування для діагностики стану когнітивної сфери респондента в задачах професійного відбору. Розвинутий підхід, який дозволяє організувати ефективне тестування з мінімізацією кількості завдань. Розроблена модель системи адаптивного тестування. Наведено приклад траєкторії тестування для чотирирівневого оцінювання когнітивної сфери людини та розроблено узагальнений алгоритм роботи системи адаптивного тестування. Лл.: 3. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: алгоритм; тестування; багаторівневе адаптивне тестування; когнітивна сфера; професійний відбір; модель; траєкторія тестування.

Постановка проблеми. У сучасну освіту у спортивний тренувальний процес та професійний відбір широко впроваджуються інформаційні технології, що дають змогу реалізації інноваційних оцінювальних методик [1]. Недолік класичних тестових методик – велика кількість завдань, адже зі збільшенням їх числа знижується ефективність процедури тестування через вплив втоми і нудного характеру багатьох запитань. Надмірне зменшення кількості завдань призводить до зниження діагностичної цінності методики [2].

Найбільш ефективними на сьогодні є методи адаптивного тестування, які передбачають зміну послідовності та кількості завдань залежно від поточних оцінок респондента [2]. Це дозволяє підвищити якість і скоротити час тестування.

Задачі сучасного професійного відбору на відповідальні посади або на роботу, що передбачає підвищене психоемоційне навантаження вимагають контролю когнітивних характеристик респондентів, які визначають можливості людини швидко обробляти інформацію, яка надходить, аналізувати обстановку і за короткий час приймати та реалізовувати правильні рішення.

Система для вирішення таких задач орієнтована на отримання корисного результату у вигляді когнітивного портрету людини. Враховуючи специфіку дослідження когнітивних функцій, система повинна бути адаптивною, тобто передбачати можливість зміни траєкторії тестувального процесу. Ще одним завданням системи є досягнення поставленої мети за мінімальний проміжок часу. При цьому

необхідно дослідити чотири незалежні елементи когнітивної сфери: увагу, пам'ять, сприйняття, психомоторну реакцію [3]. Кожний елемент характеризується власним набором специфічних характеристик, які одержуються в результаті роботи специфічних тестових методик.

Аналіз літератури. У [2] описані принципи організації комп'ютерного адаптивного тестування (КАТ). Історія використання КАТ в психометричних дослідженнях описана в [4], там же визначено широку сферу застосування КАТ для різних задач, в тому числі відбору та розподілу людей за певними вимогами, діагностування їх властивостей, знань та умінь. Визначено можливість багатовимірного КАТ, тобто одночасного оцінювання багатьох функцій. Когнітивне діагностичне КАТ будують на моделях латентних класів [4]. Сучасні тенденції в розвитку КАТ розглянуті в [5], де підтверджено важливість його застосування у фаховій діяльності та відзначено можливість проведення адаптивного комплексу тестів. У навчальному тестуванні перспективним є розвиток зворотного зв'язку до респондента із використанням бази даних неадаптивних опитувань студентів [6] та визначення латентних знань на початку навчального курсу [7]. Значного поширення набули ймовірнісні моделі для вибору наступного запитання [8]. Відомі моделі тестування великого набору навичок на основі оцінювання компонентів знань (з використанням теорії простору навчання) [9]. Багатотактовий алгоритм групового тестування студентів з елементами самонавчання запропонований у [10]. В [1] описана поетапна обробка результатів, а в [11] – збірне багатостадійне адаптивне тестування "на льоту" – підхід, що поєднує переваги КАТ і багатоетапного тестування. Саме такий підхід до тестування найбільше відповідає задачам нашої роботи. Бачимо, що переважна більшість відомих моделей та систем КАТ орієнтовані на оцінку знань в навчальному процесі, а робіт, присвячених КАТ у професійному відборі, обмаль. Існує велика кількість адаптивних моделей для зміни траєкторії в межах одного тесту, однак залишається відкритим питання переходу між тестовими методиками [5].

Відомо, що легкі та середні когнітивні порушення можуть перешкоджати людині виконувати певні професійні функції, відчутно не впливаючи на її повсякденне життя [12]. Тому виявлення і діагностика таких порушень (або невідповідностей встановленим вимогам) при профвідборі – це важлива науково-практична задача.

Мета статті – розробити адаптивну модель системи для професійного відбору на основі індивідуального підходу до тестування респондентів і виявлення професійно важливих характеристик, які формують діагностичний профіль когнітивної сфери респондента.

Розроблення моделі процесу тестування. Вхідними даними для процесу підготовки і проведення тестування є загальний блок тестів та методик BTM і правило формування траєкторії тестування. Блок тестів та методик містить множину питань для дослідження кожної з когнітивних функцій. Підготовка тестування полягає у виборі оператором тесту або методики TM із множини BTM . В результаті на монітор респондента виводиться відповідний тест.

Кожний тест або методика (TM_i) є ітеративними: на кожній ітерації здійснюється вибір і відображення наступного питання (завдання), перевірка отриманої відповіді та формування висновку після завершення дослідження.

Кожна тестова методика описується сукупністю даних і може бути представлена у вигляді

$$TM_i = M [Id(TM_{BTM_i}), ANSW_i, OPB_i], \quad (1)$$

де M – функція підрахунку результатів; $Id(TM_{BTM_i})$ – ідентифікатор питання, що використовується в певному тесті; $ANSW_i$ – відповідь на питання; OPB_i – оцінка відповіді.

Сукупність інформації про сеанс проходження конкретного тесту складає спробу проходження тесту SPT . Така спроба має вигляд

$$SPT = [Id(R), Id(TM_i), BD_{\text{поч}}, TR_i], \quad (2)$$

де $Id(R)$ – ідентифікатор особи респондента; $Id(TM_i)$ – ідентифікатор тесту в блоці тестів і методик; $BD_{\text{поч}}$ – дані до початку тестування; TR_i – траєкторія проходження тесту.

Встановимо чотири основні властивості системи дослідження когнітивних функцій людини в загальному вигляді.

1. Система володіє набором сенсорних даних, що надходять від тестових методик блоків дослідження окремих когнітивних функцій, включених до складу системи: $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, при чому кожен із них є бальною оцінкою параметра, що характеризує стан когнітивної функції. Бальна оцінка визначається шляхом проходження тестової методики та обробки відповідей респондента на поставлені завдання.

2. Система має набір доступних дій, які можуть бути такими: перехід до нового тесту W_1 , повторне проходження тесту W_2 , перехід на новий рівень тестування W_3 , завершення тестування W_4 , множину яких можна представити як $W = \{W_1, W_2, W_3, W_4\}$.

3. Система володіє визначеним набором логічних правил $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, завдяки яким формується рішення щодо подальшої траєкторії дослідження. Такі логічні правила (закони функціонування системи) опираються на результати тестів та залежать від оцінок, які респондент отримав на попередніх етапах тестування.

4. Система будує профіль когнітивної сфери досліджуваної людини, який має вигляд $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, де P_i – компоненти профілю, підпрофілі кожної когнітивної функції. Такий профіль є кінцевою метою роботи системи, він визначає оцінку стану розвитку психофізіологічної когнітивної сфери особистості респондента.

Враховуючи адаптивність системи (можливість зміни траєкторії проходження тестів), її роботу можна зобразити таким чином:

$$\langle T_1, A, W \rangle \rightarrow \langle T_2, A, W \rangle \rightarrow \dots \rightarrow \langle T_n, A, W \rangle \rightarrow P. \quad (3)$$

Розроблення алгоритму тестування. Тестування розпочинається після ідентифікації респондента. Отримавши інформацію щодо результату проходження тестової методики дослідження когнітивної функції, система порівнює ці дані з набором логічних правил і приймає рішення щодо адаптивної зміни траєкторії тестування. Оскільки досліджуються 4 когнітивні функції, то така конструкція складається з чотирьох рівнів, тобто блоків тестових методик.

Траєкторія проходження тесту TR складається з її елементів TR_i , які містять дані про результати попереднього тесту респондента та історію зміни даних. TR_1 задається системою, а наступні елементи траєкторії формуються після проходження i -го тесту:

$$TR_{i+1} = [TR_i, TM_i], \quad (4)$$

де TM_i – результат попереднього тесту.

На рис. 1 представлена чотирьохрівнева схема тестування.

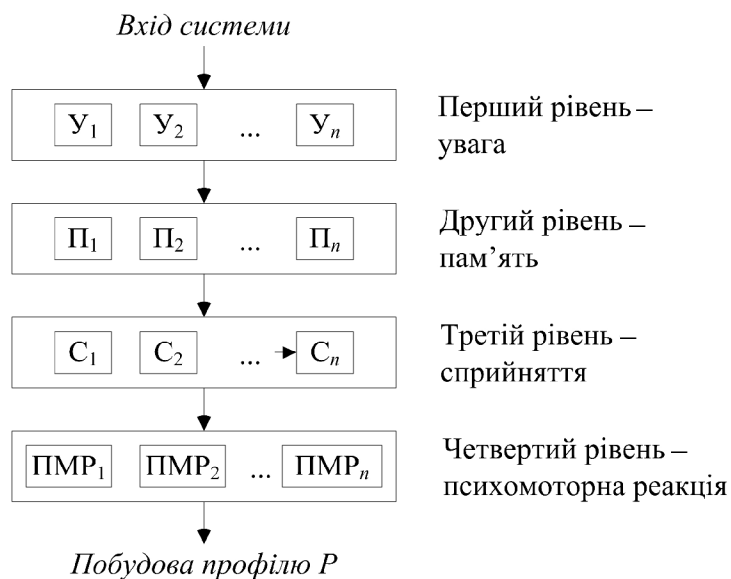


Рис. 1. Схема тестування для діагностики стану когнітивних функцій людини

Перший рівень містить тести на оцінку уваги (Y_n), другий рівень об'єднує тести для дослідження пам'яті (Π_n), третій рівень – тести для діагностики процесів сприйняття інформації (C_n), четвертий рівень – дослідження психомоторної реакції (ПМР $_n$), який включає методики простої та складної сенсо-моторної реакції та їх модифікації. Для перевірки результатів тестів використовується метод рівневої адаптації.

Приклад адаптивної траєкторії тестування при дослідженні когнітивних функцій людини наведена на рис. 2. У прикладі розглянуто систему, що містить два тести для оцінювання уваги (Y_i), три тести для оцінювання пам'яті (Π_i), два тести для оцінювання сприйняття (C_i) та одну методику для визначення ПМР. Кожна методика має свій діапазон можливих бальних оцінок, і для кожної з них попередньо встановлено порогове значення оцінки, що визначає позитивний результат тесту. Першою оцінюють увагу на основі методики "Таблиці Шульте" (Y_1 на рис. 2). Порогове значення $Y_1 = 1$. У випадку успішного проходження цієї методики (оцінка $Y_1 \leq 1$) відбувається перехід на другий рівень – дослідження пам'яті. У випадку незадовільних результатів ($Y_1 > 1$) передбачено проходження додаткового (більш ґрунтовного) тесту "Коректурна проба" (Y_2) для уточнення діагностики і підтвердження або спростування результату попереднього тесту, після чого відбувається перехід до наступного рівня і т. д.

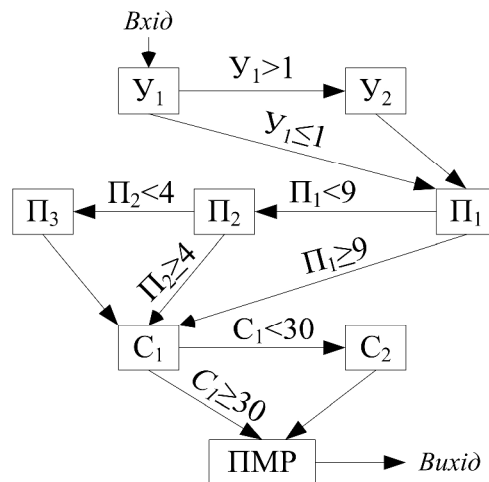


Рис. 2. Приклад схеми адаптивної траєкторії тестування

Узагальнений алгоритм тестування для дослідження когнітивних функцій людини зображений на рис. 3. Сигналом для запуску алгоритму є ініціалізація спроби проходження тестування, що містить ідентифікатор респондента $Id(R)$. Етап "Вибір тесту" передбачає вибір оператором першого тесту та його запуск (за замовчуванням встановлений тест Y_1).

Процедура тестування за кожним тестом має такий вигляд: після підтвердження вибору певного тесту на моніторі відображаються правила проходження тесту, а після підтвердження ознайомлення з ними з'являються запитання або завдання тесту; відповіді респондента і час, затрачений на роздуми, фіксуються. В підсумку в кінці кожного тесту формується результат та оновлюється запис в базі даних. Якщо результати задовільні, то відбувається перехід на наступний рівень. Після завершення дослідження на екран виводиться результат.

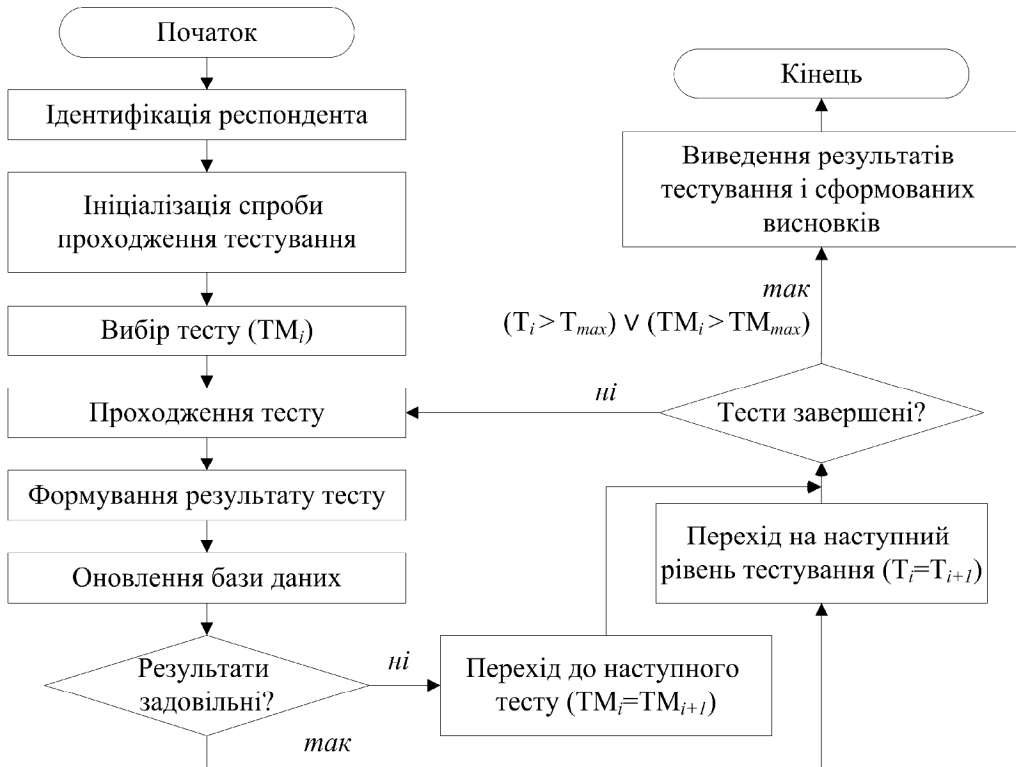


Рис. 3. Узагальнений алгоритм проведення багаторівневого адаптивного тестування

Таким чином, наукова новина роботи полягає у подальшому розвитку методів і засобів психофізіологічного тестування з метою професійного відбору респондентів шляхом вдосконалення моделі та алгоритму проведення тестування за рахунок введення адаптивної технології, що забезпечує гнучкість та оптимізацію процесу дослідження індивідуальних функціональних когнітивних можливостей респондентів.

Висновки. На основі комп'ютеризованої адаптивної багатоетапної технології проведення тестування розроблена модель системи діагностування когнітивних функцій людини для задач професійного

відбору і контролю стану когнітивної психофункціональної сфери респондента. Багаторівневість системи забезпечує діагностику множини компонент когнітивної сфери (когнітивних функцій), а адаптивність дозволяє сформуванню оптимальної траєкторії проходження тестування. Принцип функціонування системи відображений в узагальненому алгоритмі її роботи. Запропонована модель забезпечує всебічний аналіз когнітивної сфери з мінімізацією витрат часу і ресурсів, що дозволяє підвищити ефективність процедури професійного відбору на посади, пов'язані з підвищеними вимогами до когнітивних функцій людини.

Список літератури: 1. *Сельський П.П.* Алгоритм статистичної обробки та аналізу результатів тестування для оцінки якості тесту / *П.П. Сельський* // Медична освіта. – 2015. – № 3. – С. 14-19. 2. *Wainer H.* Computerized adaptive testing: a primer / *H. Wainer, N.J. Dorans, R. Flaugher and other.* – London – N.Y.: Routledge, 2000. – 335 p. 3. *Постемська К.С.* Аналіз існуючих методів для оцінювання фізичної працездатності / *К.С. Постемська, С.М. Зленко, Д.Х. Штофель, С.А. Петрушин* // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: XII міжнар. наук.-техн. конференція. – Одеса-Хмельницький: ХНУ, 2013. – С. 126-127. 4. *Chang H.-H.* Psychometrics behind computerized adaptive testing / *H.-H. Chang* // *Psychometrika*. – 2014. – Vol. 80. – № 1. – P. 1-20. 5. *New Horizons in Testing: Latent Trait Test Theory and Computerized Adaptive Testing* / Ed. *David J. Weiss.* – N.Y.: Elsevier, 2014. – 345 p. 6. *Vie J.J.* A review of recent advances in adaptive assessment / *J.J. Vie, F. Popineau, E. Bruillard, Y. Bourda* // *Learning Analytics: Fundamentals, Applications, and Trends.* – Cham: Springer International Publishing, 2017. – P. 113-142. 7. *Lynch D.* Real world usage of an adaptive testing algorithm to uncover latent knowledge / *D. Lynch, C.P. Howlin* // *Proceedings of ICERI2014 Conference, Seville, Spain.* – 2014. – P. 504-511. 8. *Chen S.* Computer adaptive testing using the Same-Decision Probability / *S. Chen, A. Choi, A. Darwiche* // *Proceedings of the Twelfth UAI Conference on Bayesian Modeling Applications.* – 2015. – Workshop-Volume 1565. – P. 34-43. 9. *Vie J.J.* A Heuristic Method for Large-Scale Cognitive-Diagnostic Computerized Adaptive Testing [Digital source] / *J.J. Vie, F. Popineau, F. Tort and other* // *Jill-Jënn Vie.* – 2017. – Access mode: http://jill-jenn.net/_static/works/a-heuristic-method-for-large-scale-cognitive-diagnosticcomputerized-adaptive-testing.pdf (accessed 27.03.2017). 10. *Бессарабов Н.А.* Алгоритмическое обеспечение адаптивной системы тестирования знаний / *Н.А. Бессарабов, А.В. Бондаренко, Т.Н. Кондратенко, Д.С. Тимофеев* // Программные продукты и системы. – 2016. – № 1 (113). – С. 68-74. 11. *Zheng Y.* On-the-fly assembled multistage adaptive testing / *Y. Zheng, H.H. Chang* // *Applied Psychological Measurement.* – 2015. – Vol. 39 (2). – P. 104-118. 12. *Локушина А.Б.* Современные представления о недементных когнитивных расстройствах / *А.Б. Локушина* // Эффективная фармакотерапия. – 2015. – № 1. – С. 36-44.

References:

1. Selskyi, P.R. (2015), "Algorithm for statistical processing and analysis of testing results for test quality evaluation", *Medical education*, Vol. 3, pp. 14-19.
2. Wainer, H., Dorans, N.J., Eignor, D. [et al.] (2000). *Computerized adaptive testing: A primer*, Routledge, London and New York, 335 p.
3. Postemska, K.S., Zlepko, S.M., Shtofel, D.Kh., and Petrushyn, S.A. (2013), "Analysis of existing methods for physical working capacity assessment", *Proceedings of the 12th International Conference Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, Odesa, Ukraine, pp. 126-127.

4. Chang, Hua-Hua (2014), "Psychometrics behind computerized adaptive testing", *Psychometrika*, Vol. 80, No 1, pp. 1-20.
5. Weiss, David J. (ed.) (2014), *New Horizons in Testing: Latent Trait Test Theory and Computerized Adaptive Testing*, Elsevier, New York, 345 p.
6. Vie, J.J., Popineau, F., Bruillard, É., and Bourda, Y. (2017), "A review of recent advances in adaptive assessment", In *Learning Analytics: Fundamentals, Applications, and Trends*, Springer International Publishing, Cham, pp. 113-142.
7. Lynch, D., and Howlin, C.P. (2014), "Real world usage of an adaptive testing algorithm to uncover latent knowledge", *Proceedings of ICERI2014 Conference*, Seville, Spain, pp. 504-511.
8. Chen, S., Choi, A., and Darwiche, A. (2015, July), "Computer adaptive testing using the Same-Decision Probability", *Proceedings of the Twelfth UAI Conference on Bayesian Modeling Applications*, Workshop-Volume 1565. pp. 34-43.
9. Vie, J.J., Popineau, F., Tort, F. [et al.] (2017), "A Heuristic Method for Large-Scale Cognitive-Diagnostic Computerized Adaptive Testing", available at: http://jill-jenn.net/_static/works/a-heuristic-method-for-large-scale-cognitive-diagnostic-computerized-adaptive-testing.pdf (accessed 27 March 2017).
10. Bessarabov, N.A., Bondarenko, A.V., Kondratenko, T.N., and Timofeev, D.S. (2016), "Algorithmic software of adaptive system for knowledge testing", *Software & Systems*, Vol. 1 (113), pp. 68-74.
11. Zheng, Y., and Chang, H.H. (2015), "On-the-fly assembled multistage adaptive testing", *Applied Psychological Measurement*, Vol. 39 (2), pp. 104-118.
12. Lokshina, A.B. (2015), "Modern notions of non-demented cognitive impairment", *Effective Pharmacotherapy*, Vol. 1, pp. 36-44.

Статтю представив д-р техн. наук, проф. ВНТУ Зленко С.М.

Надійшла (received) 00.00.2017

Navrotska Ksenia, Postgraduate
Vinnytsia National Technical University
Str. Khmelnytske Shose 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021
Tel.: (0432) 598-123, e-mail: ksysha33@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8373-6387

Shtofel Dmytro, Ph.D., Associate Professor
Vinnytsia National Technical University
Str. Khmelnytske Shose 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021
Tel.: (0432) 598-123, e-mail: striks@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9807-5179

Kostishyn Sergiy, Ph.D., Senior Lecturer
Vinnytsia National Technical University
Str. Khmelnytske Shose 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021
Tel.: (0432) 598-123, e-mail: seruykost@rambler.ru
ORCID: 0000-0002-4701-8721

Makohon Vitaliy, Assistant
Vinnytsia National Technical University
Str. Khmelnytske Shose 95, Vinnytsia, Ukraine, 21021
Tel.: (0432) 598-123, e-mail: vim1986@i.ua

УДК 004.9:616-072.8

Адаптивний алгоритм тестування для оцінювання когнітивних функцій людини / Навроцька К.С., Штофель Д.Х., Костишин С.В., Макогон В.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – № 21 (1243). – С. 135 – 143.

В статті розглянутий процес організації багаторівневого адаптивного тестування для діагностики стану когнітивної сфери респондента в задачах професійного відбору. Розвинутий підхід, який дозволяє організувати ефективне тестування з мінімізацією кількості тестів. Розроблена модель системи адаптивного тестування. Наведено приклад траєкторії тестування для чотирьохрівневого оцінювання когнітивної сфери людини та розроблено узагальнений алгоритм роботи системи адаптивного тестування. Іл.: 3. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: алгоритм; тестування; багаторівневе адаптивне тестування; когнітивна сфера; професійний відбір; модель; траєкторія тестування.

УДК 004.9:616-072.8

Адаптивный алгоритм тестирования для оценивания когнитивных функций человека / Навроцкая К.С., Штофель Д.Х., Костишин С.В., Макогон В.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2017. – № 21 (1243). – С. 135 – 143.

В статье рассмотрен процесс организации многоуровневого адаптивного тестирования для диагностики состояния когнитивной сферы респондента в задачах профессионального отбора. Развит подход, который позволяет организовать эффективное тестирование с минимизацией количества тестов. Разработана модель системы адаптивного тестирования. Приведен пример траектории тестирования для четырехуровневого оценивания когнитивной сферы человека и разработан обобщенный алгоритм работы системы адаптивного тестирования. Илл.: 3. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: алгоритм; тестирование; многоуровневое адаптивное тестирование; когнитивная сфера; профессиональный отбор; модель; траектория тестирования.

UDC 004.9:616-072.8

Adaptive testing algorithm for human cognitive functions assessing / Navrotska K.S., Shtofel D.Kh., Kostishyn S.V., Makohon V.I. / Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2017. – №. 21 (1243). – P. 135 – 143.

The article deals with the organizing process of multi-level adaptive testing for the respondent's cognitive sphere diagnostics in the tasks of professional selection. An approach that allows to organize effective testing with minimization of tests number is developed. A model of the adaptive testing system is developed. We gave an example of a testing trajectory for a four-level assessment of the human cognitive sphere, and a generalized algorithm of the adaptive testing system is developed. Figs.: 3. Refs.: 12 titles.

Keywords: algorithm; testing; multi-level adaptive testing; cognitive sphere; professional selection; model; testing trajectory.