



УДК 37.091.26:004.9

Н.В. КРУГЛОВА*, О.О. ДИХОВИЧНИЙ*, І.В. АЛЕКСЄЄВА*

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕСТІВ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ

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

Анотація. У статті досліджено одне з актуальних питань дистанційного навчання – питання якості комп'ютерних тестів із точки зору забезпечення об'єктивного контролю знань. Це питання набуває особливої значущості в сучасних умовах пандемії і тимчасового карантину. Головну увагу приділено статистичному аналізу якості тестів на підставі результатів тестування з застосуванням методів КТТ та IRT. За допомогою сучасних статистичних методів авторами проаналізовано результати тестування, підготовленого й проведеного в період карантинних заходів. Як об'єкт дослідження вибрано тест за темою «Інтегрування функцій однієї змінної», яку студенти повністю опанували дистанційно. Тести було створено на базі платформи MOODLE в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» викладачами кафедри математичного аналізу й теорії ймовірностей. Обробку даних здійснено за допомогою системи для аналізу тестів, створеної авторами в середовищі програмування R. Система дозволяє обробляти тести в різних сферах: педагогіці, психології, соціології тощо, різні за своєю структурою; використовувати одночасно апарат КТТ і IRT; працювати з масивами даних великого об'єму; проводити аналіз не тільки тестових питань, але й респондентів; більш точно їх диференціювати. На підставі дослідження підтверджено можливість проведення електронного тестування дистанційно. Технологія, використана в дослідженні, може бути застосована для створення й аналізу завдань ЗНО, проведення сесійного контролю під час карантину. Використання методів, досліджених у роботі для аналізу тестових завдань, дозволить підвищити компетентність викладачів вищої школи щодо проведення електронного дистанційного тестування.

Ключові слова: IRT, модель Рааша, політомічна модель, множинний вибір, середовище програмування R, пакет *irt* і пакет *ltm*.

Аннотация. В статье исследован один из актуальных вопросов дистанционного обучения – вопрос качества компьютерных тестов с точки зрения обеспечения объективного контроля знаний. Этот вопрос приобретает особую значимость в современных условиях пандемии и временного карантина. Главное внимание уделено статистическому анализу качества тестов на основании результатов тестирования с применением методов КТТ и IRT. С помощью современных статистических методов авторами проанализированы результаты тестирования, подготовленного и проведенного в период карантинных мероприятий. В качестве объекта исследования выбрано тест по теме «Интегрирование функций одной переменной», которой студенты полностью овладели дистанционно. Тесты были созданы на базе платформы MOODLE в Национальном техническом университете Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» преподавателями кафедры математического анализа и теории вероятностей. Обработку данных осуществлено с помощью системы для анализа тестов, созданной авторами в среде программирования R. Система позволяет обрабатывать тесты в различных сферах: педагогике, психологии, социологии и т.д., разные по своей структуре; использовать одновременно аппарат КТТ и IRT; работать с массивами данных большого объема; проводить анализ не только тестовых вопросов, но и респондентов, более точно их дифференцировать. На основании исследования

підтверджена можливість проведення електронного тестування дистанційно. Технологія, використана в дослідженні, може бути применена для створення і аналізу завдань ЗНО, проведення сесійного контролю в час карантину. Використання методів, досліджених в роботі для аналізу тестових завдань, дозволить підвищити компетентність викладачів вищої школи стосовно проведення електронного дистанційного тестування.

Ключевые слова: IRT, модель Раша, політомическа модель, множественный выбор, среда программирования R, пакет mirt и пакет ltm.

Abstract. The paper explores one of the current issues of distance education – the quality of computer tests in terms of ensuring objective control of knowledge. This issue is especially important in today's pandemic and temporary quarantine. The main attention is paid to a statistical analysis of test quality based on test results using CTT and IRT methods. Using modern statistical methods, the authors analyzed the results of testing prepared and conducted during the quarantine period. As an object of study, a test on "Integration of functions of one variable" was chosen, which students completely mastered remotely. The tests were created on the basis of the MOODLE platform at Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, by professors of the Department of Mathematical Analysis and Probability Theory. Data processing is carried out using a system for test analysis, created by the authors in the programming environment R. The system allows you to process tests in different areas: pedagogy, psychology, sociology, etc., different in structure; use both CTT and IRT apparatus; work with large data sets; to analyze not only test questions, but also respondents; more accurately differentiate respondents. Based on the study, the possibility of conducting electronic testing remotely was confirmed. The technology used in the study can be used to create and analyze the tasks of external evaluation, conducting session control during quarantine. The use of the methods studied in the work for the analysis of test tasks will increase the competence of high school teachers to conduct electronic remote testing.

Keywords: IRT, Rasch model, polytomic model; multiple choice, R programming environment; mirt package and ltm package.

DOI: 10.34121/1028-9763-2020-2-105-116

1. Вступ

У період тимчасового загального переходу вищої школи на дистанційне навчання є надзвичайно актуальним питання щодо організації дистанційного навчання і, як його складової, проведення дистанційного контролю знань студентів.

Головна проблема – це організація в умовах дистанційного навчання процесу контролю знань. Забезпечення контролю потребує створення такої бази тестових завдань, яка б дозволяла проводити сам процес тестування та забезпечувала об'єктивність, надійність і валідність контролю.

Саме тому виникла необхідність створювати і модернізувати тести, які можливо проводити дистанційно при мінімальному контролі з боку викладача, і так, щоб їх результати відповідали реальним знанням і навичкам студентів.

Адже проблема адекватного дистанційного тестування виникла не тільки у вищій школі, але й при проведенні ЗНО. І, якщо буде побудовано ефективну методику створення й аналізу тестування, це дасть можливість перейти на дистанційні методи оцінювання знань.

2. Постановка проблеми і аналіз актуальних публікацій

В «КПІ імені Ігоря Сікорського» неодноразово проводилось комп'ютерне тестування студентів із різних розділів вищої математики. Але раніше таке тестування проводилось під наглядом викладачів.

Очевидно, що за умов відсутності контролю з боку викладача виникають такі нові фактори впливу на об'єктивність контролю знань:

1. Ідентифікація іспитника.
2. Використання онлайн-ресурсів для розв'язання задач із математики.

3. Допомога «консультантів».

Адже існує безліч онлайн-ресурсів для розв'язання задач із математики. Як відомо, більшість таких ресурсів використовується студентами саме для розв'язування задач за темою «Інтеграли».

Отже, перед викладачем постає проблема створення такого тесту, який би забезпечував:

1. Змістовну валідність.
2. Надійність.
3. Відсутність розв'язків тестових завдань в інтернеті.
4. Жорсткі обмеження в часі.
5. Високу розрізняльну спроможність в умовах обмежень у часі.
6. Рівномірну складність питань.
7. Неможливість угадування відповіді.

Звичайно, все це потребує ретельного аналізу результатів тестування, що неможливо без відповідного інструментарію, для чого було обрано статистичний апарат КТТ (класичної теорії тестів) та IRT (Item Response Theory) і відповідну програмну реалізацію в середовищі програмування R.

Дослідження якості тестів просувається у двох основних напрямках: аналіз результатів тестування методами КТТ ([1, 2] та ін.) і застосування методів сучасної теорії тестів IRT ([2, 3–9] та ін.). Питання сумісного застосування методів класичної й сучасної теорій тестів для аналізу результатів тестування з вищої математики розглянуто в роботі [10].

Питання якості тестів виникає не тільки в педагогіці, але й у психології, соціології. Наприклад, для аналізу якості психологічних опитувальників у роботах [11–13] було використано не тільки КТТ, але і IRT, що дозволило виявити недоліки при проведенні тестування.

У [10, 14, 15] зроблено аналіз якості тестів із вищої математики, які проводились для студентів технічних факультетів «КПІ ім. І. Сікорського». У [16] докладно описано конструювання тестів із фізики з використанням моделей IRT.

Вплив різних видів тестових завдань на статистичні характеристики тесту досліджували в [17]. У [18] Карданова Е.Ю. довела можливість використовувати політомічну модель Раша в задачах на відповідність, використавши методи IRT для опрацювання результатів ЄДІ.

Метою статті є демонстрація ефективності статистичних методів КТТ та IRT, програмно реалізованих засобами R, для аналізу якості тестових завдань із вищої математики в умовах дистанційного навчання.

3. Теоретичні основи

В основу аналізу якості тестів було покладено методи КТТ та IRT.

Серед показників КТТ було відібрано:

1. Надійність.
2. Змістовна валідність.
3. Аналіз розподілу вибірки первинних балів.

Центральне місце приділено застосуванню методів IRT, а саме, моделям, в основу яких покладено ймовірнісний зв'язок між латентними параметрами іспитників і тестових завдань. Незважаючи на різноманіття моделей IRT, було відібрано основні базові і такі, які є найбільш перевіреними. Особливу увагу приділено моделі Муракі для політомічних завдань.

Будемо використовувати в усіх моделях такі позначення:

- n – кількість іспитників;
- m – кількість завдань у тесті.

Модель Раша [3]. Застосовується для завдань дихотомічного типу (завдань, в яких тільки два варіанти відповіді: правильний або неправильний). В [19] відмічено, що цю модель можна використовувати в питаннях відкритого типу.

Модель описується такими параметрами:

- складністю питання тесту – $\alpha_j, j = \overline{1, m}$;
- підготовленістю іспитника – $z_i, i = \overline{1, n}$.

Імовірність правильної відповіді i -го іспитника на j -те питання тесту визначається за формулою

$$P_{ij} = \frac{1}{1 + e^{\alpha_j - z_i}}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}.$$

Модель Раша виправлена [2], [8]. В Росії й Україні більше використовують саме цю модель, називаючи її моделлю Раша. Відрізняється від попередньої моделі тільки множинним показником степеня моделі.

Імовірність правильної відповіді i -го іспитника на j -те питання тесту визначається за формулою

$$P_{ij} = \frac{1}{1 + e^{1.702(\alpha_j - z_i)}}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}.$$

Модель Бірнбаума [6]. Узагальненням моделі Раша можна вважати модель Бірнбаума, в якій додатково вводиться параметр розрізняльної спроможності. Параметрами моделі будуть:

- $D_j, j = \overline{1, m}$ – розрізняльна спроможність завдання;
- $z_i, i = \overline{1, n}$ – підготовленість i -го іспитника;
- $\alpha_j, j = \overline{1, m}$ – складність питання тесту.

Імовірність правильної відповіді i -го іспитника на j -те питання тесту визначається так:

$$P_{ij} = \frac{1}{1 + e^{-D_j(z_i - \alpha_j)}}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}.$$

3-PL модель [6]. Ця модель теж використовується для завдань дихотомічного типу. Але в ній вводиться додатковий параметр – імовірність угадування правильної відповіді.

Модель характеризується такими латентними параметрами:

- $D_j, j = \overline{1, m}$ – розрізняльна спроможність завдання;
- $z_i, i = \overline{1, n}$ – підготовленість i -го іспитника;
- $\alpha_j, j = \overline{1, m}$ – складність питання тесту;
- $\gamma_j, j = \overline{1, m}$ – імовірність угадування правильної відповіді j -го питання.

$$P_{ij} = \gamma_j + (1 - \gamma_j) \left[\frac{1}{1 + e^{-D_j(z_i - \alpha_j)}} \right], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}.$$

Модель Муракі [4]. Особливу увагу приділено моделі для політомічних завдань. У цій моделі вдалось врахувати можливість задавати від'ємні штрафні бали за неправильні відповіді. Її визначають такими параметрами:

- D – константа, рівна 1,7;
- a_j – розрізняльна здатність питання тесту;

- $\alpha_{jk}, j = \overline{1, m}, k = \overline{0, m_j}$ – параметри складності k -го рівня j -го завдання;
- $z_i, i = \overline{1, n}$ – підготовленість i -го іспитника;
- m_j – кількість рівнів завдання.

У політомічній моделі ймовірність досягнення i -м іспитником k -го рівня j -ого питання визначається за формулою

$$P_{jk} = \frac{e^{\sum_{s=0}^k Da_j(z_i - \alpha_{js})}}{\sum_{k=0}^{m_j} e^{\sum_{s=0}^k Da_j(z_i - \alpha_{js})}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, m_j}.$$

4. Результати дослідження

З метою перевірки результатів тестування було проведено тест із вищої математики за темою «Інтегрування функцій однієї змінної». Тест було проведено в кінці березня 2020 року для 253 студентів технічних спеціальностей КПІ ім. Ігоря Сікорського. Важливою особливістю є те, що вивчення такої теми студентами припало на період карантину, а, отже, й вивчення відбувалося засобами дистанційного навчання. Студенти одержали електронні матеріали, доступ до дистанційних курсів за відповідною темою, а лекційні і практичні заняття проводились в ZOOM, з консультаціями в TELEGRAM, VIBER, YUOTUBE.

Тестова контрольна робота складалася з 10 тестових питань різних типів: множинного вибору з однією правильною відповіддю; множинного вибору з декількома правильними відповідями, завдань відкритого типу. Тестування було проведено для всіх студентів одночасно; коридор доступу до тесту – 2 год; час виконання завдань – 1,5 год; максимальна оцінка – 10 балів.

Для аналізу результатів тестування було використано систему для аналізу тестових завдань на базі пакетів mirt, ltm мови програмування R [20].

1. Було сформовано EXCEL-таблицю у вигляді, зручному для опрацювання засобами R.

2. Розподіл частот балів наведено у табл. 1. Гістограма розподілу частот за балами зображена на рис. 1.

Таблиця 1 – Розподіл частот балів тестування

бал	[0,1]	(1,2]	(2,3]	(3,4]	(4,5]	(5,6]	(6,7]	(7,8]	(8,9]	(9,10]
частота	0	3	5	14	20	31	45	51	53	31

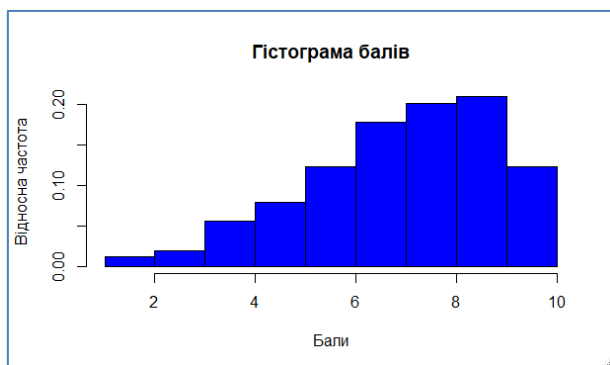


Рисунок 1 – Гістограма частот

3. Мода частот розподілу первинних балів дорівнює 8, середня дорівнює 7,03. Розподіл є унімодальним, і значення моди близьке до середнього. Гіпотезу про нормальність розподілу балів було підтверджено критерієм Колмогорова-Смирнова ($p\text{-value}=0,087 > 0,05$). Отже, тест не потребує корекції.

4. Коефіцієнт надійності Кронбаха $\alpha = 0,7103 > 0,7$. Таке значення коефіцієнта свідчить про достатньо високу на-

дійність тесту [17].

5. Питання змістовної валідності тесту вирішувалось використанням тестів зі створеної раніше бази тестових завдань, розроблених експертами, і зміст яких повністю відповідав учбовим програмам.

Наведемо результати аналізу тесту за допомогою моделей IRT.

Слід зазначити, що питання із множинним вибором із декількома правильними відповідями виключали можливість використання моделі Су-Болта [8] для тестів множинного вибору, оскільки варіанти відповідей перемішувалися і вводилася система штрафних балів за неправильний варіант відповіді. Але введення шкали градації для балів, одержаних для таких типів завдань, дозволило використати для цих питань політомічну модель Муракі.

Отже, в нашому тесті для двох питань було застосовано політомічну модель Муракі і для 8-ми завдань застосовувались дихотомічні моделі (модель Раша, виправлена модель Раша, модель Бірнбаума, 3-PL модель).

Було проведено такі процедури аналізу результатів тесту:

1. Для перевірки адекватності розглянутих моделей застосовано критерій χ^2 [11]. Він підтвердив адекватність моделі Муракі для політомічних завдань. Дихотомічні завдання досліджуваного тесту адекватно описували модель Раша і виправлена модель Раша (з коефіцієнтом 1,702). Але критерій χ^2 дозволив відхилити гіпотезу про адекватність моделей Бірнбаума і 3-PL для даного тесту.

Таблиця 2 – Параметр угадування для дихотомічних завдань

γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_6	γ_7	γ_8
$2,7 \cdot 10^{-8}$	0,15	$2,1 \cdot 10^{-6}$	0,004	0,0001	0,0001	0,00006	0,4

У табл. 2 наведено параметр, який відповідає за ймовірність угадування у 3-PL моделі. Як видно з табл. 2, для всіх дихотомічних завдань, крім останнього, ймовірність угадування доволі низька. Це і пояснює, чому недоцільно для такого тесту використовувати 3-PL модель.

2. Були побудовані графіки інформаційних функцій для політомічних (рис. 2а) і дихотомічних (рис. 2б) тестових завдань. Із графіка інформаційної функції (рис. 2а) можна зробити висновок, що завдання політомічного типу є найбільш інформативними для іспитників від -2 до 1,5 логіта. Форма інформаційної кривої доводить, що політомічні завдання тесту були складені коректно. З форми інформаційної кривої тесту, яка має дзвоноподібну форму (рис. 2б), видно, що дихотомічна частина тесту також була складена коректно.

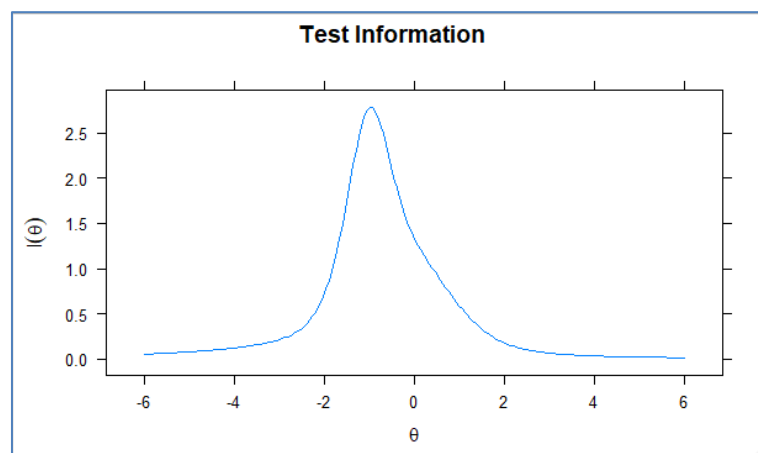


Рисунок 2а – Інформаційна крива політомічної частини тесту

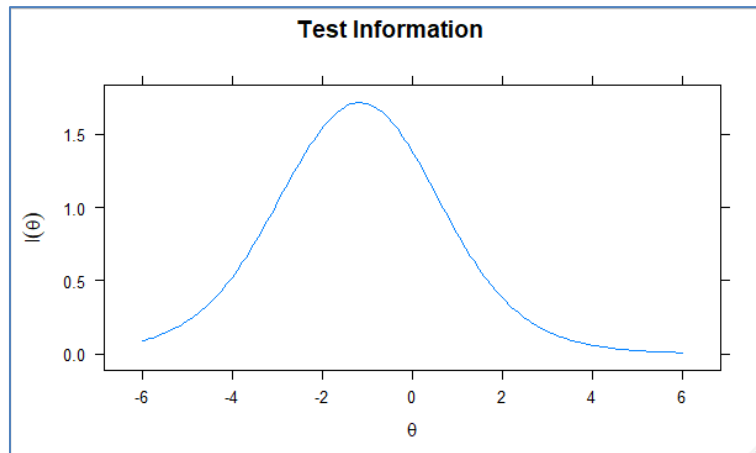


Рисунок 2б – Інформаційна крива дихотомічної частини тесту

3. Було побудовано ансамблі характеристичних кривих. З форм характеристичних кривих (рис. 3) першого політомічного завдання видно, що 2-й, 6-й, 8-й рівні не спрацьовують. Перше питання було завданням множинного вибору із трьома правильними і двома неправильними відповідями зі штрафними балами. Неспрацьовування саме цих рівнів можна пояснити тим, що один варіант відповіді знали всі (а це було завдання на знання табличних інтегралів), а один дистрактор був дуже схожий на правильну відповідь, його вибрала більшість, за що й понизила свої бали. Отже, потрібно переформулювати два варіанти відповіді у першому питанні. У другому питанні тільки один варіант відповіді був надто легким. Його також потрібно переформулювати так, щоб він був менше схожий на табличний інтеграл.

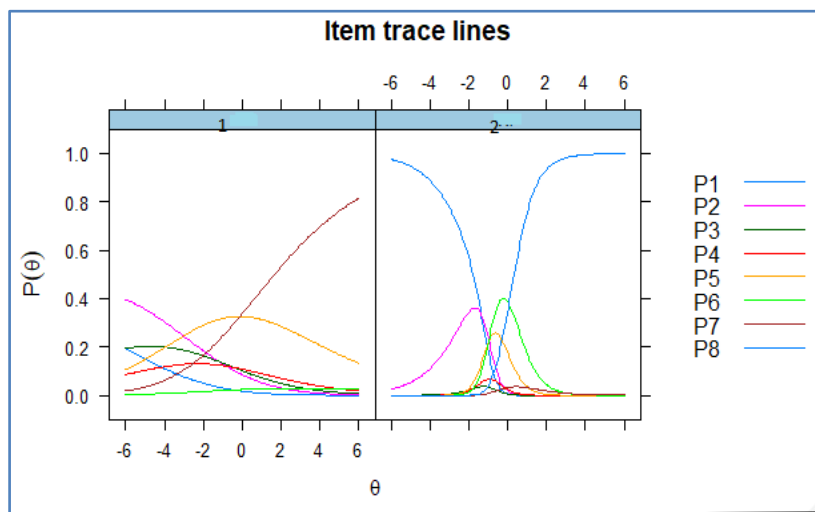


Рисунок 3 – Характеристичні криві рівнів

4. Проаналізуємо дихотомічну частину тесту. З рис. 4 видно, що характеристичні криві всіх завдань рівномірно покривають область від -4 до 4 логітів. Отже, завдання складені вдало. Чим вище рівень знань іспитника, тим вище ймовірність відповісти на питання тесту. Найпростішим є 6-е і 7-е питання, а найтяжчим – 4-е завдання. Іспитники з рівнем підготовленості вище 2 логітів із ймовірністю, близькою до 1-ї, зможуть відповісти на всі дихотомічні завдання тесту.

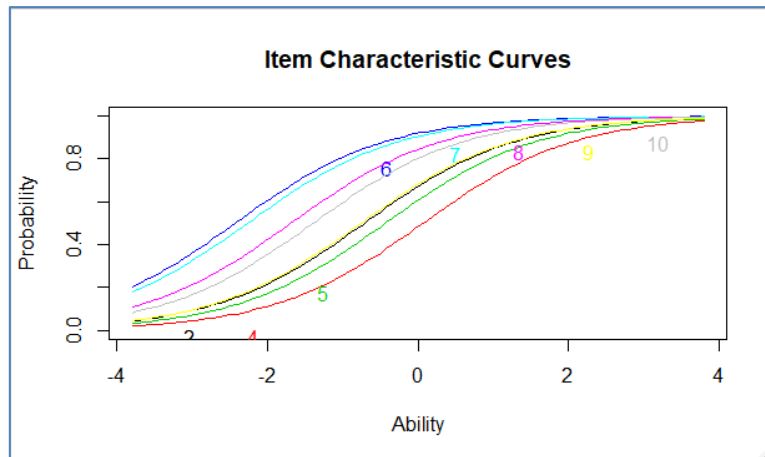


Рисунок 4 – Характеристичні криві завдань (модель Раша)

З вигляду інформаційних кривих для моделі Раша (рис. 5), видно, що найлегшими виявились 6-е і 7-е завдання.

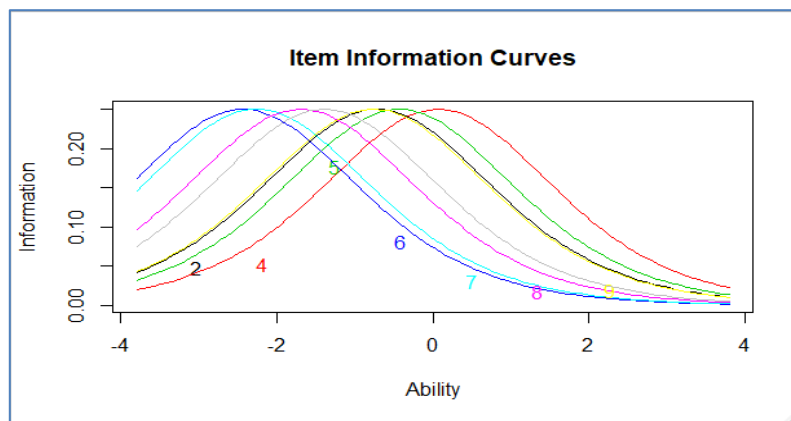


Рисунок 5 – Інформаційні криві завдань (модель Раша)

На рис. 6 і 7 відображені характеристичні та інформаційні криві завдань для виправленої моделі Раша. Вони відображають результати, аналогічні до звичайної моделі Раша.

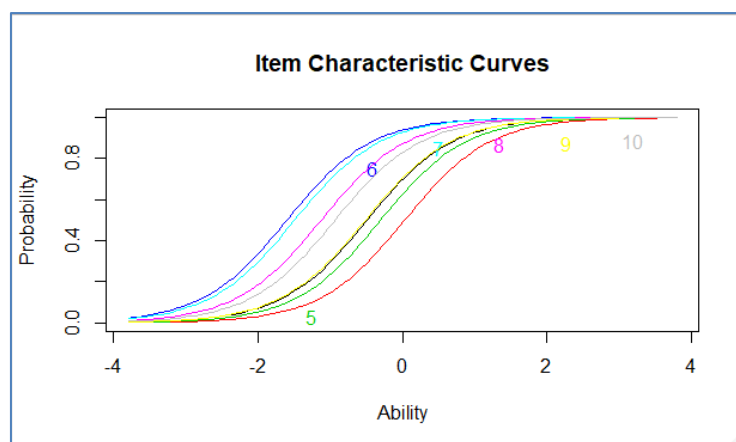


Рисунок 6 – Характеристичні криві завдань (виправлена модель Раша)

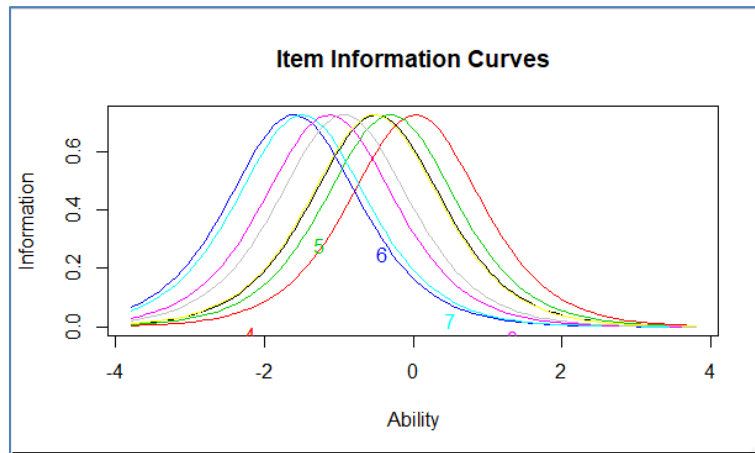


Рисунок 7 – Інформаційні криві (виправлена модель Раша)

За критерієм χ^2 ми відкинули можливість використання саме для цього тесту моделі Бірнбаума, але буде цікавим проаналізувати характеристичні криві завдань.

З рис. 8 видно, що завдання 6 і 7 мають найгіршу розрізняльну здатність. Ці завдання виявились найлегшими для студентів.

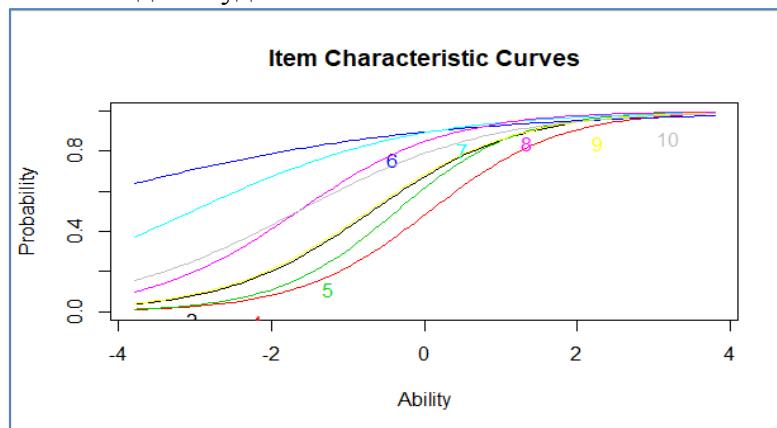


Рисунок 8 – Характеристичні криві завдань (модель Бірнбаума)

У завданнях 6 і 7 потрібно було обчислити визначені інтеграли і, дійсно, саме для цього розділу можна використати Wolfram Alpha або його онлайн-версії. На рис. 9, 10 наведено приклади цих завдань. Отже, завдання 6 і 7 потрібно змінити так, щоб студенти не могли користуватися програмним забезпеченням, а могли покладатися лише на свої знання.

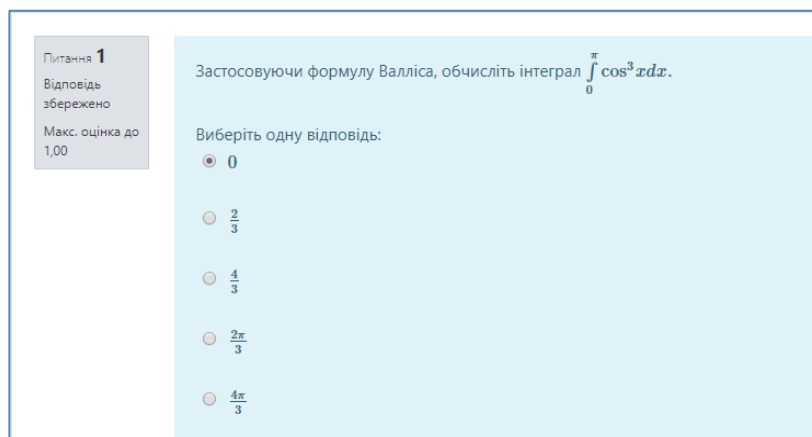


Рисунок 9 – Завдання 6

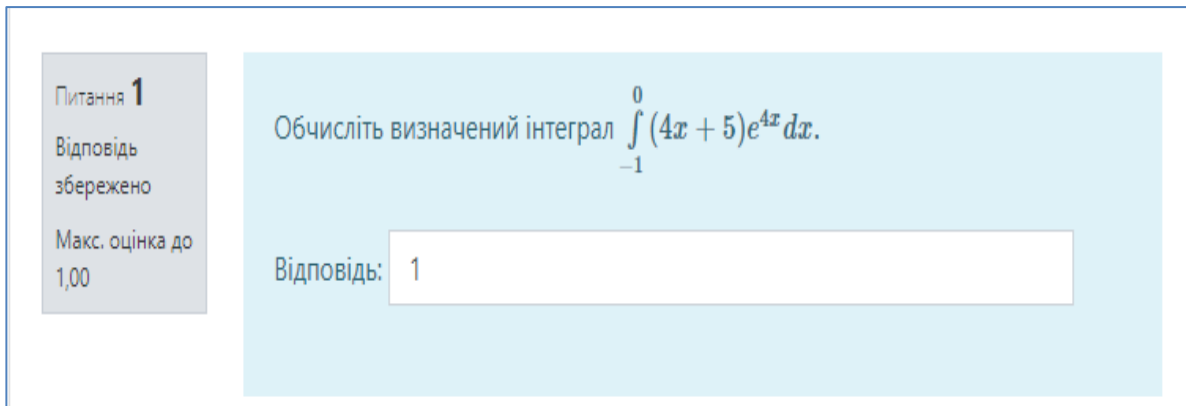


Рисунок 10 – Завдання 7

Для аналізу результатів тестування використовувались функції пакетів *mirt*, *ltm* мови програмування R [20]. Наведемо частину коду програми.

```
x<-b1[,1]
table(x)
hist(x,breaks = 10, prob=T, col= "blue", xlab="Бали", ylab="Відносна частота",main="Гістограма балів")
b2<-b1[,c(1,3)]
b3<-b1[,c(2,4:10)]
f1 <- rasch(b3, constraint = cbind(ncol(b3) + 1, 1))
f2 <- rasch(b3, constraint = cbind(ncol(b3) + 1, 1.702))
gpcm13<- mirt(b2,1,"gpcm")
coef(gpcm13)
GoF.rasch(f1,B=199)
coef(f1)
plot(f2,type = "ПС",labels=c(2,4:10))
coef(f2)
GoF.rasch(f2,B=199)
f3<-ltm(b2~z1)
plot(f3,type = "ПС",labels=c(2,4:10))
coef(f3)
f4<-tpm(b3)
plot(f4,type = "ПС",labels=c(2,4:10))
coef(f4)
```

5. Висновки

1. У дослідженні було використано методи КТТ та ІРТ. Програмна реалізація зроблена в середовищі програмування R.
2. Статистичні характеристики, визначені за методами КТТ, відповідають правильно складеним тестам.
3. Аналіз за методами ІРТ також показав непогані характеристики тесту у цілому та окремих тестових завдань. Але й виявив певні недоліки. А саме:
 - а) модель 3-PL виявилась неадекватною за критерієм χ^2 ;
 - б) у тій же моделі виявились низькими параметри ймовірності угадування;
 - в) ряд тестових питань виявився занадто легким або продемонстрував низьку розрізняльну спроможність;
 - г) деякі дистрактори у політомічних завданнях неправильно сформульовані.

Основний висновок, який можна зробити на підставі цих зауважень, полягає у тому, що питання повинні бути складені так, щоб їх початкове формулювання не дозволяло використання онлайн-сервісів; потрібно встановлювати жорстке обмеження часу для зменшення онлайн-спілкування іспитників; ряд завдань просто потребують переформулювання.

Отже, методи КТТ та IRT є надійним, ефективним апаратом конструювання та аналізу тестів навіть в умовах дистанційного навчання і мають непогану перспективу при створенні тестових завдань і обробці результатів ЗНО, а також дистанційного контролю знань студентів і учнів.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Crocker L., Algina J. Introduction to Classical and Modern Test Theory. Belmont, CA: Wadsworth, 2006. 527 p.
2. Чельшкова М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов. М.: Логос, 2002. 432 с.
3. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence and attainment tests. Copenhagen: Danish Institute for Educational Research. 1960.
4. Muraki E., Carlson E.B. Full-information factor analysis for polytomous item responses. *Applied Psychological Measurement*. 1995. Vol. 19, N 1. P. 73–90.
5. Suh Y., Bolt D. Nested logit models for multiple-choice item response data. *Psychometrika*. 2010. Vol. 75. P. 454–473.
6. Linden W., Hambleton R. Handbook of modern item response theory. New York: Springer, 2018. 512 p.
7. Baker F. The Basics of Item Response Theory. College Park, MD: ERIC Clearinghouse on Assessment and Evaluation, 2001. URL: <http://echo.edres.org:8080/irt/baker/> (Last accessed: 24.04.2020).
8. Лісова Т.В. Моделі та методи сучасної теорії тестів. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2012. 112 с.
9. Нейман Ю.М., Хлебников В.А. Введение в теорию моделирования параметризации педагогических тестов. М.: Прометей, 2000. 168 с.
10. Диховичний О.О., Дудко А.Ф. Комплексна методика аналізу якості тестів з вищої математики», *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова*. Серія 2: Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. 2015. № 15. С. 139–144.
11. Dykovichnyi O., Zlyvko 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.
12. Dykovichnyi O.O., Kruglova N.V., Moskalov I.O. Using of mathematical models for analyzing of the results in psychological Guilford test. *Mathematics in Modern Technical University*. 2018. Vol. 1. P. 75–89.
13. Dykovichnyi O., Zlyvko V., Kruglova N., Lukomska S., Kotukh O. Authenticity of the english language teacher's: the validation of authenticity questionnaire using item response theory. *Science progress in European countries: new concepts and modern solutions*. 2019. P. 335–347.
14. Алексеева І.В., Гайдей В.О., Диховичний О.О., Коновалова Н.Р., Федорова Л.Б. Застосування сучасних математичних моделей педагогічного тестування у формуванні та аналізі тестових завдань комплекту «Вища математика». *Дидактика математики: проблеми і дослідження: міжнародний збірник наукових робіт*. Донецьк: Вид-во ДонНТУ, 2010. Вип. 33. С. 50–56.
15. Алексеева І.В., Гайдей В.О., Диховичний О.О., Коновалова Н.Р., Федорова Л.Б. Застосування математичних моделей тестів у комплекті дистанційної освіти «Вища математика». *Математичні машини і системи*. 2010. № 4. С. 89–98.
16. Ким В.С. Разработка тестов по физике: учеб. пособ. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2015. 228 с.
17. Дятлова К.Д., Михалева Т.Г. Исследование влияния разнообразия форм тестовых заданий на статистические характеристики теста. *Вопросы тестирования в образовании*. 2006. № 4. С. 65–75.
18. Карданова Е.Ю. О применимости полиномической модели Г. Раша к тестовым заданиям разли-

- чных форм, оцениваемым политомически. *Вопросы тестирования в образовании*. 2006. № 4. С. 44–56.
19. Карпова И.П. Сравнение открытых и выборочных тестов. *Открытое образование*. 2010. № 3. С. 32–38.
20. URL: <http://cran.us.r-project.org>.

Стаття надійшла до редакції 12.05.2020