

UDK: 744:004.9:159.937.5

Haqberdiyev B.R*Alfraganus universiteti, Umumkasbiy fanlar kafedrası mudiri**p.f.f.d., v.b.professor**TIQXMMI Milliy tadqiqot universiteti tayanch doktoranti****Abdukarimova G.D.****e-mail: g_abdukarimova@tiiame.uz**ORCID: 0009-0006-4165-4694*

ГРАФИК КОМПЕТЕНТЛИКНИНГ ФОРМАЛЛАСHTIRILADIGAN КОМПОНЕНТЛАРИ ВА УЛАРНИ МИҚДОРИЙ О'ЛCHASH MUAMMOSI

Аннотатсия. Муhandislik ta'limida «график компетентлик» tushunchasi keng qo'llanilsa-da, uning operatsionallashtirilgan, ya'ni algoritmik o'lchashga yaroqli ta'rifi shakllanmagan. Maqolada grafik kompetentlik tarkibi tahlil qilinib, uning komponentlari formallashtirilish darajasi bo'yicha uch guruhga ajratilgan hamda mavjud o'lchov vositalari qiyosiy baholangan. Tahlil ko'rsatdiki, xalqaro amaliyotda keng tarqalgan MRT, PSVT:R va MCT testlari faqat fazoviy tasavvurning latent qobiliyat komponentini o'lchaydi va grafik kompetentlikning normativ hamda ijrochilik komponentlarini qamrab olmaydi. Fazoviy ko'nikmalarni mashq orqali rivojlantirish samaradorligining meta-tahlil bo'yicha o'rtacha ta'sir kattaligi $g = 0,47$ ni tashkil etgani ushbu komponentlarning o'zgaruvchanligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, avtomatik generatsiya sharoitida klassik kalibrlash sxemasi qo'llanilmasligi aniqlangan: har bir topshiriq parametrini empirik baholash yuzlab respondent javobini talab qiladi, generator esa cheksiz yangi topshiriq hosil qiladi. Adabiyot tahlili topshiriq qiyinligini uning strukturaviy belgilaridan bashoratlash yondashuvi bu ziddiyatni yechish imkonini berishini va bunday modellarda bashorat sifati odatda $r \approx 0,70-0,77$ darajasida shakllanishini ko'rsatdi. Natijalar grafik kompetentlikni o'lchashda ikki manbani — latent testlash va chizmani avtomatik tahlil qilishni — yagona shkalada birlashtirish zarurligini asoslaydi.

Калит so'zlar: график компетентлик; fazoviy tasavvur; formallashtirish; element javob nazariyasi; topshiriqlarni avtomatik generatsiya qilish; kalibrlash; PSVT:R; Mental Cutting Test; validlik.

Аннотация. Несмотря на широкое употребление понятия «графическая компетентность» в инженерном образовании, его операционализированное, то есть пригодное для алгоритмического измерения определение не сформировано. В статье проанализирована структура графической компетентности, её компоненты разделены на три группы по степени формализуемости, а существующие измерительные инструменты подвергнуты

сравнительной оценке. Анализ показал, что широко распространённые в международной практике тесты MRT, PSVT:R и MCT измеряют лишь латентный компонент пространственного воображения и не охватывают нормативный и исполнительский компоненты графической компетентности. Средний размер эффекта тренировки пространственных навыков по данным метаанализа составляет $g = 0,47$, что подтверждает изменчивость этих компонентов. Вместе с тем установлено, что в условиях автоматической генерации классическая схема калибровки неприменима: эмпирическая оценка параметров каждого задания требует сотен ответов респондентов, тогда как генератор производит неограниченное число новых заданий. Анализ литературы показал, что данное противоречие может быть разрешено посредством прогнозирования трудности задания по его структурным признакам, причём качество прогноза в таких моделях обычно составляет $r \approx 0,70-0,77$. Результаты обосновывают необходимость объединения двух источников измерения — латентного тестирования и автоматического анализа чертежа — в единой шкале.

Ключевые слова: графическая компетентность; пространственное воображение; формализация; теория ответов на задания; автоматическая генерация заданий; калибровка; PSVT:R; Mental Cutting Test; валидность.

Abstract. Although the notion of graphic competence is widely used in engineering education, no operationalised definition suitable for algorithmic measurement has yet been established. This paper analyses the structure of graphic competence, groups its components into three classes according to their degree of formalisability, and comparatively evaluates the existing measurement instruments. The analysis shows that the MRT, PSVT:R and MCT instruments widely used in international practice measure only the latent spatial-visualisation component and do not cover the normative and performance components of graphic competence. The mean training effect size for spatial skills reported in meta-analysis is $g = 0.47$, confirming the malleability of these components. At the same time, it is established that the classical calibration scheme is inapplicable under automatic generation: empirical estimation of each item's parameters requires hundreds of respondent answers, whereas a generator produces an unlimited number of new items. The literature review shows that this contradiction can be resolved by predicting item difficulty from its structural features, with prediction quality in such models typically reaching $r \approx 0.70-0.77$. The results substantiate the need to combine two measurement sources — latent testing and automatic drawing analysis — within a single scale.

Keywords: graphic competence; spatial visualisation; formalisation; item response theory; automatic item generation; calibration; PSVT:R; Mental Cutting Test; validity.

Kirish. Muhandislik grafikasi fanlari bo'yicha o'quv natijalarini baholash amaliyotida «grafik kompetentlik», «grafik savodxonlik», «fazoviy tafakkur» kabi tushunchalar keng qo'llaniladi. Biroq ular, qoida tariqasida, tavsifiy darajada qoladi: nimani, qanday birlikda va qaysi mezon bo'yicha o'lchash kerakligi ochiq ko'rsatilmaydi. Bunday holatda baholash o'qituvchining sub'yektiv mulohazasiga tayanadi, natijalar esa turli guruhlar va turli davrlar bo'yicha taqqoslanmaydi. Mahalliy tadqiqotlarda ham grafik kompetentlik asosan sifat mezonlari orqali — daraja tavsiflari ko'rinishida — baholanadi va bir o'lchamli miqdoriy shkalaga keltirilmaydi [19].

Avtomatlashtirilgan baholash tizimini loyihalash uchun tushunchaning tavsifiy ta'rifi yetarli emas — u operatsionallashtirilishi, ya'ni algoritm bajara oladigan amallar ketma-ketligiga keltirilishi lozim. Bu esa dastlabki savolni tug'diradi: grafik kompetentlikning qaysi komponentlari umuman formallashtirilishi mumkin va ular qanday miqdoriy shkalada ifodalanadi?

Xalqaro amaliyotda fazoviy qobiliyatni o'lchashning bir necha standart vositasi shakllangan: Mental Cutting Test (MCT) [1], Mental Rotations Test (MRT) [2] hamda Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT:R) [3]. Bu vositalar o'nlab yillar davomida qo'llanilib, katta empirik baza to'plangan. Biroq so'nggi yillardagi tizimli sharhlar ularning

muhim chegarasini qayd etmoqda: standart vositalar fazoviy mulohazaning ayrim izolyatsiyalangan komponentlarinigina o'lchaydi va texnika sohasi amaliyoti uchun zarur kengroq kompetensiyalarni qamrab olmaydi [4]. PSVT:R ning muhandislik ta'limidagi qo'llanilishiga bag'ishlangan tanqidiy sharhda esa test natijalari asosida chiqarilayotgan xulosalarning haddan tashqari kengaytirilishi asosiy e'tiroz sifatida ko'rsatiladi [5].

Mazkur maqolaning maqsadi — grafik kompetentlik tarkibini formallashtirilish nuqtayi nazaridan tahlil qilish, mavjud o'lchov vositalarining qamrov chegaralarini aniqlash hamda avtomatik generatsiya sharoitida yuzaga keladigan metrologik ziddiyatni asoslab berishdir.

Materiallar va usullar. Tadqiqot qiyosiy-analitik xarakterga ega bo'lib, uning axborot bazasini to'rt guruh manba tashkil etadi. Birinchi guruh — fazoviy qobiliyatni o'lchash vositalarining birlamchi tavsiflari va ularning psixometrik validlanishiga oid ishlar [1–3; 6; 7]. Ikkinchi guruh — so'nggi yillarda chop etilgan tizimli sharhlar, tanqidiy tahlillar va meta-tahlillar [4; 5; 8–11]. Uchinchi guruh — element javob nazariyasi, adaptiv testlash va topshiriqlarni avtomatik generatsiya qilish sohasidagi metodologik adabiyot [12–18]. To'rtinchi guruh — mahalliy tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar [19; 20].

Manbalarni saralashda quyidagi mezonlar qo'llanildi: (a) manba

retsenziyalanadigan jurnalda yoki nufuzli nashriyotda chop etilgan bo'lishi; (b) o'lchov vositasi bo'yicha psixometrik ko'rsatkichlar keltirilgan bo'lishi; (c) muhandislik yoki STEM ta'limi kontekstiga tegishliligi. Ushbu mezonlar asosida tanlangan manbalar mazmuniy tahlil (content analysis) usuli bilan qayta ishlandi va ikki o'lchov bo'yicha tasniflandi: o'lchanadigan konstrukt turi hamda formallashtirilish darajasi.

Manbalarning nashr yiliga alohida talab qo'yildi. Soha jadal yangilanayotgani bois asosiy tahliliy yuk so'nggi o'n yillikda (2015-yildan keyin) chop etilgan ishlarga yuklandi; ro'yxatdagi manbalarning yarmidan ko'pi shu davrga tegishli. Undan avvalgi ishlar faqat ikki holatda keltirildi: agar ular o'lchov vositasining yoki matematik modelning birlamchi manbasi bo'lsa (bunday hollarda ularni yangiroq nashr bilan almashtirish ilmiy jihatdan noto'g'ri bo'lar edi), yoki hozirgacha o'z ahamiyatini saqlab kelayotgan meta-tahlil bo'lsa.

Formallashtirilish darajasi ostida komponentni algoritmik tarzda, ya'ni inson ekspertining ishtirokisiz baholash imkoniyati tushuniladi. Tahlilda uch daraja ajratildi: to'liq formallashtiriladigan (natija bir qiymatli qoidaga keltiriladi), qisman formallashtiriladigan (qoida mavjud, biroq talqin talab etadi) va formallashtirilmaydigan (baho ekspert mulohazasiga tayanadi).

O'lchov vositalarining psixometrik xususiyatlarini taqqoslashda element javob nazariyasining ikki parametrlili logistik modelidan foydalanildi. Unga ko'ra, qobiliyat darajasi θ bo'lgan sinaluvchining i-topshiriqni to'g'ri bajarish ehtimoli quyidagicha aniqlanadi:

$$P_i(\theta) = 1 / (1 + \exp[-a_i(\theta - b_i)]) \quad (1)$$

bu yerda a_i — topshiriqning ajratish qobiliyati; b_i — uning qiyinlik parametri. Topshiriqning axborot funksiyasi va test axborot funksiyasi mos ravishda quyidagicha hisoblanadi:

$$I_i(\theta) = a_i^2 \cdot P_i(\theta) \cdot [1 - P_i(\theta)]; \\ I(\theta) = \sum I_i(\theta) \quad (2, 3)$$

Baholash aniqligining standart xatosi test axborot funksiyasi orqali ifodalanadi:

$$SE(\theta) = 1 / \sqrt{I(\theta)} \quad (4)$$

(4) tenglama adaptiv testlashning metrologik asosini tashkil etadi: har bir qadamda joriy θ bahosida axborot funksiyasi maksimal bo'lgan topshiriq tanlanadi, bu esa berilgan aniqlikka kamroq topshiriq bilan erishish imkonini beradi [12].

Generatsiya qilingan topshiriqlar uchun qiyinlikni bashoratlash imkoniyatini baholashda chiziqli logistik test modeli (LLTM) qo'llaniladi. Unga muvofiq topshiriq qiyinligi uning strukturaviy belgilarining chiziqli kombinatsiyasi sifatida ifodalanadi [14; 17]:

$$b_j = \sum_k (q_{jk} \cdot \eta_k) + c \quad (5)$$

bu yerda q_{jk} — j -topshiriqda k -belgining mavjudligi yoki miqdori; η_k — shu belgining qiyinlikka qo'shadigan hissasi; c — erkin had. Ushbu model tadqiqotda asosiy tahliliy vosita sifatida emas, balki adabiyotda keltirilgan bashorat sifati ko'rsatkichlarini qiyoslash uchun mezon sifatida ishlatildi. (1)–(5) tenglamalarning nazariy asoslari va parametrlarni baholash usullari [13] da batafsil bayon etilgan. So'nggi yillarda fazoviy qobiliyatni ko'p atributli diagnostik modellar orqali baholash yo'nalishi ham rivojlanmoqda [20].

Natijalar. Adabiyot tahlili grafik kompetentlik tarkibini uch komponentga ajratish imkonini berdi. Birinchi komponent — latent kognitiv qobiliyat: fazoviy tasavvur, aqliy aylantirish, kesim shaklini tasavvur qilish. Ikkinchi komponent — normativ bilim: standart talablarini bilish va qo'llash, chiziq turlari, o'lchamlar qo'yish qoidalari, shartli belgilar. Uchinchi komponent — ijrochilik ko'nikmasi: chizmani CAD muhitida yoki qo'lda bajarish, qatlamlar bilan ishlash, hujjatni rasmiylashtirish. Ularning formallashtirilish darajasi 1-jadvalda keltirilgan.

Komponent	Tarkibiy elementlar	Formallashtirilish darajasi	O'lchov usuli
Latent kognitiv qobiliyat	Aqliy aylantirish, proyeksiyani tasavvur qilish, kesim shaklini aniqlash	Qisman (tanlovli javob orqali)	Standart testlar (MRT, PSVT:R, MCT), IRT modeli
Normativ bilim	Chiziq turlari, o'lchamlar qo'yish qoidalari, shartli belgilar, masshtab	To'liq	Chizmani formal qoidalar bo'yicha tekshirish
Ijrochilik ko'nikmasi	CAD muhitida bajarish, qatlamlar tuzilmasi, hujjat tarkibi	To'liq (vektor format uchun)	DXF/DWG faylni etalon bilan qiyoslash
Konstruktorlik mulohazasi	Yechim variantini tanlash, ratsionallik, uslub	Formallashtirilmaydi	Ekspert bahosi

1-jadval. Grafik kompetentlik komponentlarining formallashtirilish darajasi bo'yicha tasnifi (muallif tomonidan [1–7] manbalar tahlili asosida tuzilgan).

Jadvaldan ko'rinadiki, to'rt komponentdan ikkitasi to'liq formallashtiriladi, biri qisman, biri esa umuman formallashtirilmaydi. Bu birinchi muhim natija: avtomatlashtirilgan baholash tizimi grafik kompetentlikni to'liq qamrab ololmaydi va bu holat cheklov sifatida

ochiq e'tirof etilishi lozim. Ayni paytda formallashtiriladigan uch komponent baholashning asosiy hajmini tashkil etadi va aynan ular avtomatlashtirishdan eng ko'p yutadi.

Mavjud o'lchov vositalarining qiyosiy tahlili 2-jadvalda keltirilgan.

Vosita	Topshiriqlar soni	Vaqt, daq.	O'lchanadigan konstrukt	Asosiy manba va izoh
MCT (CEEB)	25	20	Kesim shaklini aqliy tasavvur qilish	Muhandislik va arxitektura ta'limida keng qo'llaniladi [1; 10]
MRT (Vandenberg –Kuse)	20	6	Uch o'lchamli aqliy aylantirish	Kub-blokli figuralarga asoslangan [2]
PSVT:R / Revised PSVT:R	30	20	Aqliy aylantirish (qiya va egri sirtlar bilan)	Muhandislik ta'limida eng keng tarqalgan; IRT doirasida qayta kalibrlangan [3; 6; 7]
SAET (Nagy-Kondor, Esmailnia)	—	—	Kesish, aylantirish va kreativlik birgalikda	2022-y.; muhandislik talabalari uchun maxsus ishlab chiqilgan [10]

2-jadval. Fazoviy qobiliyatni o'lchash vositalarining qiyosiy tavsifi [1–3; 6; 7; 10] asosida.

Jadval ikkinchi muhim natijani ko'rsatadi: to'rt vositaning barchasi 1-jadvaldagi birinchi komponentni — latent kognitiv qobiliyatni — o'lchaydi. Ikkinchi va uchinchi komponentlar (normativ bilim va ijrochilik ko'nikmasi)

ularning qamrovidan tashqarida qoladi. Shu bois faqat standart testlarga tayanadigan baholash grafik kompetentlik o'rniga uning bitta bo'lagini o'lchaydi va bunday bahoning konstrukt validligi cheklangan bo'ladi.

Uchinchi natija — o'lchanadigan komponentlarning o'zgaruvchanligi. 217 ta tadqiqotni qamrab olgan meta-tahlilga ko'ra, fazoviy ko'nikmalarni maqsadli mashq qilishning nazorat guruhiga nisbatan o'rtacha ta'sir kattaligi Hedges $g = 0,47$ ($SE = 0,04$) ni tashkil etadi; ta'sir barqaror bo'lib, bevosita mashq qilinmagan boshqa fazoviy topshiriqlarga ham ko'chadi [8]. Sorbi va uning hammualliflari 2018-yilgi tadqiqotda ushbu ko'rsatkichlarning nafaqat test natijalariga, balki STEM fanlari bo'yicha o'zlashtirish va dasturda qolib ketish ko'rsatkichlariga ham ijobiy ta'sir ko'rsatishini aniqlagan [9]. Virtual texnologiyalarning fazoviy qobiliyatga ta'siri bo'yicha 2022-yilgi meta-tahlil ham shu yo'nalishdagi natijalarni tasdiqlaydi [11], kengaytirilgan reallik vositalarining muhandislik chizmachiligi kursidagi samaradorligi esa alohida o'rganilgan [12]. Demak, mazkur komponentlar tug'ma xususiyat emas va ularni maqsadli mashq orqali rivojlantirish mumkin — bu adaptiv o'qitish tizimini yaratishning asosiy shartidir.

To'rtinchi va metodologik jihatdan eng muhim natija — avtomatik generatsiya sharoitidagi kalibrlash ziddiyati. (1)–(4) tenglamalarga ko'ra, adaptiv testlash algoritmi har bir topshiriqning a va b parametrlarini oldindan bilishi shart. Klassik sxemada bu parametrlar empirik yo'l bilan, ya'ni

katta hajmdagi respondent javoblari asosida baholanadi va bunday kalibrlash uchun bitta topshiriqqa yuzlab kuzatuv talab etiladi. Adaptiv testlash nazariyasida topshiriqlar banki yagona shkalada oldindan kalibrlangan bo'lishi zarurligi asosiy shart sifatida ko'rsatiladi [13]. Parametrik generator esa cheksiz sonli yangi topshiriq hosil qiladi va ularning hech biri uchun javob statistikasi mavjud emas. Natijada ikki texnologiya — generatsiya va adaptiv tanlash — bir-biriga to'g'ridan-to'g'ri ulanmaydi.

Adabiyot tahlili bu ziddiyatni yechishning ikki yo'nalishini ko'rsatdi. Birinchisi — topshiriqlarni «oila» (item family) sifatida ko'rib chiqish va oila darajasidagi parametrlarni baholash [15; 18]. Ikkinchisi — topshiriq qiyinligini uning strukturaviy belgilaridan (5) tenglama tipidagi model bo'yicha bashoratlash [12; 14; 17]. So'nggi yillarda bu yondashuv test xavfsizligini ta'minlash va noverbal mulohaza topshiriqlarini generatsiya qilish vazifalariga ham kengaytirilgan [15; 16]. Ikkinchi yondashuv topshiriqni umuman sinovdan o'tkazmasdan uning qiyinligini oldindan belgilash imkonini bergani uchun generativ tizimlar uchun ustunroq hisoblanadi. Turli sohalarda olingan bashorat sifati ko'rsatkichlari 3-jadvalda umumlashtirilgan.

Yondashuv	Qo'llanish sohasi	Bashorat sifati	Izoh
Kognitiv loyihalash	Abstrakt	$r \approx 0,77$	36 ta topshiriq bo'yicha

Yondashuv	Qo'llanish sohasi	Bashorat sifati	Izoh
tizimi (Embretson)	mulohaza topshiriqlari		ko'p omilli regressiya [14]
LLTM asosidagi bashorat	Figuraviy matritsalar	$r \approx 0,71$	25 ta topshiriq bo'yicha Rasch va LLTM parametrlari korrelyatsiyasi; [17] da qiyoslash sifatida keltirilgan
Element modellari (item models)	Ko'p sohali	—	Bitta modeldan yuzlab topshiriq hosil qilinadi [15; 16]
Topshiriqlarni klonlash	Adaptiv testlash	—	Oila darajasidagi parametrlarni baholash [18]

3-jadval. Topshiriq qiyinligini apriori bashoratlash yondashuvlari va adabiyotda keltirilgan bashorat sifati [12; 14–18] asosida.

3-jadval ko'rsatadiki, strukturaviy belgilarga asoslangan bashorat modellarida korrelyatsiya koeffitsientining 0,70 dan yuqori bo'lishi qoniqarli natija sifatida qabul qilinadi [16]. Bu qiymat mutlaq aniqlikni bermaydi, biroq adaptiv algoritmnining dastlabki topshiriqni tanlashi uchun yetarli hisoblanadi, keyingi qadamlarda esa baho respondent javoblari hisobiga aniqlashtirib boriladi.

Muhokama. Olingan natijalar grafik kompetentlikni o'lchash masalasida uch xil chegaraning mavjudligini ko'rsatadi. Birinchi chegara — konstrukt chegarasi: standart fazoviy testlar grafik kompetentlikning faqat bir komponentini qamraydi. Bu holat

so'nggi yillardagi tanqidiy adabiyotda ham qayd etilgan [4; 5]: standart vositalar izolyatsiyalangan qobiliyatlarni o'lchaydi va texnika amaliyotidagi kengroq fazoviy mulohazani qamramaydi. Fazoviy qobiliyat tadqiqotlarining hozirgi kun holati bo'yicha sharhda ham o'lchov vositalarining xilma-xilligi va ular ortidagi taksonomiyalarning bir-biriga mos kelmasligi asosiy metodologik muammo sifatida ko'rsatilgan [8]. Shu sababli tizimda latent testlash chizmani avtomatik tahlil qilish bilan to'ldirilishi zarur.

Ikkinchi chegara — o'lchov strategiyasi chegarasi. Sinaluvchi tanlovli javobli topshiriqni fazoviy tasavvur orqali emas, balki analitik yoki

elementlarni chetlashtirish strategiyasi bilan ham yechishi mumkin; bunday holatda test o'zi mo'ljallangan konstruktni o'lchamay qo'yadi [6]. Bu masala distraktorlarni loyihalash sifatiga bevosita bog'liq: geometrik jihatdan asossiz noto'g'ri variantlar sinaluvchiga ularni tez chetlashtirish imkonini beradi. Demak, avtomatik generatsiya tizimida distraktorlar ham geometrik qonuniyatlar asosida sintez qilinishi lozim.

Uchinchi chegara — kalibrlash chegarasi bo'lib, u aynan generativ tizimlarga xos. Ushbu masala umumiy psixometrikada ma'lum bo'lsa-da, muhandislik grafikasi topshiriqlari kontekstida yetarli o'rganilmagan: mavjud ishlar asosan sonli qatorlar, figuraviy matritsalar, noverbal mulohaza va matnli masalalar bilan cheklanadi [14; 16; 17]. Fazoviy grafik topshiriqlar uchun qiyinlikni belgilovchi strukturaviy belgilar tizimi — jismning qirralari va yoqlari soni, ko'rinmas chiziqlar ulushi, simmetriya darajasi, kesimlar mavjudligi va shu kabilar — hozircha tizimlashtirilmagan. Bu bo'shliq mazkur tadqiqot uchun asosiy ilmiy vazifani belgilaydi.

Tadqiqotning cheklovlarini ham qayd etish zarur. Birinchidan, tahlil ochiq manbalar bilan cheklandi; ayrim tijoriy o'lchov vositalarining texnik hujjatlari mavjud emas. Ikkinchidan, 1-jadvaldagi tasnif nazariy xarakterga ega bo'lib, komponentlarning haqiqiy ajralishi empirik tarzda — masalan, tasdiqlovchi omilli tahlil orqali — tekshirilishi lozim. Uchinchidan, 3-

jadvalda keltirilgan bashorat sifati ko'rsatkichlari boshqa predmet sohalariga tegishli va ularning fazoviy grafik topshiriqlarga bevosita ko'chishi kafolatlanmaydi; bu masala alohida empirik tekshiruvni talab qiladi.

Xulosa. Maqolada grafik kompetentlik tarkibi formallashtirilish nuqtayi nazaridan tahlil qilinib, uni miqdoriy o'lchashning mavjud imkoniyatlari va chegaralari aniqlandi.

Tadqiqot quyidagi xulosalarga olib keldi. Birinchidan, grafik kompetentlikning to'rt komponentidan uchtasi algoritmik baholashga yaroqli, biri esa (konstruktorlik mulohazasi) ekspert bahosisiz o'lchanmaydi; bu cheklov tizimni loyihalashda oldindan e'tirof etilishi lozim. Ikkinchidan, xalqaro amaliyotda qo'llanilayotgan MCT, MRT va PSVT:R vositalari faqat latent kognitiv komponentni qamraydi, shu bois grafik kompetentlikni o'lchash uchun ular chizmani avtomatik tahlil qilish natijalari bilan to'ldirilishi shart. Uchinchidan, mazkur komponentlar mashq orqali rivojlantiriladi (meta-tahlil bo'yicha $g = 0,47$), bu esa adaptiv o'qitish trayektoriyasini qurishni asoslaydi.

To'rtinchi va asosiy xulosa metrologik xarakterga ega: topshiriqlarni avtomatik generatsiya qilish va adaptiv baholash bir-biriga to'g'ridan-to'g'ri ulanmaydi, chunki generatsiya qilingan topshiriqning qiyinlik parametri noma'lum bo'ladi. Adabiyot tahlili bu ziddiyatni topshiriqning strukturaviy belgilariga

asoslangan bashorat modeli orqali
yechish mumkinligini ko'rsatdi.
Muhandislik grafikasi topshiriqlari
uchun bunday belgilar tizimini ishlab

chiqish va uni empirik tekshirish keyingi
tadqiqotning asosiy vazifasi sifatida
belgilanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

- [1] College Entrance Examination Board. Special Aptitude Test in Spatial Relations. — New York: CEEB, 1939. (Mental Cutting Test birlamchi manbasi).
- [2] Vandenberg S.G., Kuse A.R. Mental Rotations, a Group Test of Three-Dimensional Spatial Visualization // Perceptual and Motor Skills. — 1978. — Vol. 47. — P. 599–604. (MRT birlamchi manbasi).
- [3] Guay R.B. Purdue Spatial Visualization Test. — West Lafayette: Purdue Research Foundation, 1976. (PSVT:R birlamchi manbasi).
- [4] McNea M., Tanner D., Lane D., Cole R. A Focused Look at Spatial Assessment in Technology & Engineering Education // European Journal of Engineering Education. — 2025. — P. 497–520. DOI: 10.1080/03043797.2025.2572027.
- [5] Bartlett K.A. The Politics of the Purdue Spatial Visualization Test of Rotations (PSVT:R) and Its Use in Engineering Education // Engineering Studies. — 2024. — Vol. 16, №1. — P. 56–77. DOI: 10.1080/19378629.2023.2297958.
- [6] Yoon S.Y. Psychometric Properties of the Revised Purdue Spatial Visualization Tests: Visualization of Rotations: Doctoral Dissertation. — West Lafayette: Purdue University; ProQuest LLC, 2011. — ERIC ED534824.
- [7] Maeda Y., Yoon S.Y., Kim-Kang G., Imbrie P.K. Psychometric Properties of the Revised PSVT:R for Measuring First Year Engineering Students' Spatial Ability // International Journal of Engineering Education. — 2013. — Vol. 29, №3. — P. 763–776.
- [8] Uttal D.H., Meadow N.G., Tipton E., Hand L.L., Alden A.R., Warren C., Newcombe N.S. The Malleability of Spatial Skills: A Meta-Analysis of Training Studies // Psychological Bulletin. — 2013. — Vol. 139, №2. — P. 352–402. DOI: 10.1037/a0028446.
- [9] Sorby S.A., Veurink N., Streiner S. Does Spatial Skills Instruction Improve STEM Outcomes? The Answer is 'Yes' // Learning and Individual Differences. — 2018. — Vol. 67. — P. 209–222. DOI: 10.1016/j.lindif.2018.09.001.
- [10] Nagy-Kondor R., Esmailnia S. Development of Spatial Ability Extra Tasks (SAET): Problem Solving with Spatial Intelligence // Quality & Quantity. — 2022. — Vol. 56. DOI: 10.1007/s11135-021-01284-7.

- [11] Di X., Zheng X. A Meta-Analysis of the Impact of Virtual Technologies on Students' Spatial Ability // Educational Technology Research and Development. — 2022. — Vol. 70, №1. — P. 73–98. DOI: 10.1007/s11423-022-10082-3.
- [12] Tiwari A.S., Bhagat K.K. Comparative Analysis of Augmented Reality in Engineering Drawing Course: Assessing Spatial Visualization and Cognitive Load // Australasian Journal of Educational Technology. — 2024. — Vol. 40, №6. — P. 19–36. DOI: 10.14742/ajet.9217.
- [13] van der Linden W.J., Glas C.A.W. (Eds.) Elements of Adaptive Testing. — New York: Springer, 2010. — 462 p.
- [14] Embretson S.E. Generating Items During Testing: Psychometric Issues and Models // Psychometrika. — 1999. — Vol. 64, №4. — P. 407–433. (Kognitiv loyihalash yondashuvining birlamchi manbasi).
- [15] Gierl M.J., Shin J., Firoozi T., Lai H. Using Content Coding and Automatic Item Generation to Improve Test Security // Frontiers in Education. — 2022. — Vol. 7. — Art. 853578. DOI: 10.3389/feduc.2022.853578.
- [16] Gierl M.J., Bozdağ S., Sayın A. Automatic Item Generation for Non-Verbal Reasoning Items // International Journal of Assessment Tools in Education. — 2023. — Vol. 10, Special Issue. — P. 132–148. DOI: 10.21449/ijate.1359348.
- [17] Blum D., Holling H. Automatic Generation of Figural Analogies With the IMak Package // Frontiers in Psychology. — 2018. — Vol. 9. — Art. 1286. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.01286.
- [18] Glas C.A.W., van der Linden W.J. Computerized Adaptive Testing with Item Cloning // Applied Psychological Measurement. — 2003. — Vol. 27, №4. — P. 247–261.
- [19] Achilov N.N. Kompyuter grafikasi vositasida talabalarni ijodiy qobiliyatlarini rivojlantirish: pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati: 13.00.02. — Toshkent: Toshkent arxitektura-qurilish universiteti, 2025.
- [20] Li J., Man K., Rajeb M., Krist A., Lakin J.M. Assessing Comprehensive Spatial Ability and Specific Attributes Through Higher-Order LLM // Journal of Intelligence. — 2025. — Vol. 13, №10. — Art. 127. DOI: 10.3390/jintelligence13100127.
- [21] Xujaev, M. (2020). Mahmudkhuja Behbudiy as a leader of jadid reforms. The Light of Islam, 3, 39-47.
- [22] Evlen, H., Juraev, D., Ziyamukhamedova, U., Khujaev, M., & Jalilov, F. (2025). PLA/Ti6Al4V composite scaffolds for bone tissue engineering: mechanical and thermal properties via FDM and bioprinting. Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition, 1-25.

- [22] Abduraimova, N., Sharopova, N., Khujaev, M., Sapayev, V., Fattoyeva, O., & Yusufov, S. (2025). Economic development through analysis of the education and entrepreneurship impacts. *Economic Annals-XXI/Ekonomičnij Časopis-XXI*, 214(3/4), 84.
- [22] Isoxonovich, M. X. (2022). Middle Ages Movarounnahr Rulers in the Views OF Researchers. *European Journal of Innovation in Nonformal Education*, 2(6), 134-136.
- [21] Xujayev, M. I. (2018). THE COVERAGE OF THE PROBLEM OF NATIONALARITY AND ITS ROLE ON THE PRESENT DAY IN AHMAD ZAKI VALADI'S WORK. *Мировая наука*, (6 (15)), 61-63.
- [22] Хужаев, М. И. (2018). АҲМАД ЗАКИ ВАЛИДИЙНИНГ ДИНИЙ-ФАЛСАФИЙ МЕРОСИНИНГ ИЛДИЗЛАРИ. In *Инновационные подходы в современной науке* (pp. 177-182).
- [23] Khujaev, M. (2024). AHMED ZAKI: ON THE IDEAS OF THE PHILOSOPHY OF HISTORY. *Экономика и социум*, (1 (116)), 235-239.



ALFRAGANUS

XALQARO ILMIY JURNAL

VOL. 3 • ISSUE 14 • 2026

UMUMKASBIY FANLAR

NASHR MA'LUMOTLARI

Ushbu jurnal O'zbekiston Respublikasi Prezidenti
Administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy
kommunikatsiyalar agentligida № 060125 guvohnoma
bilan ro'yxatdan o'tgan.

«ALFRAGANUS UNIVERSITY» nashriyotida tayyorlandi.

Muharrir: Xolbekov S.

ISSN: 2992-8974

journals.afu.uz

journals@afu.uz

Tel: +998 90 335 09 30

ALFRAGANUS UNIVERSITY

TOSHKENT • 2026