УДК 377:155.9:004.9

Буров Олександр Юрійович
доктор технічних наук, старший дослідник,
провідний науковий співробітник відділу цифрової трансформації НАПН України
Інститут цифровізації освіти НАПН України, м. Київ, Україна
старший науковий співробітник
Віденський університет, м. Відень, Австрія
ORCID ID 0000-0003-0733-1120
ayb@iitlt.gov.ua

Пінчук Ольга Павлівна
кандидат педагогічних наук, старша наукова співробітниця,
заступник директора з науково-експериментальної роботи
Інститут цифровізації освіти НАПН України, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-2770-0838
opinchuk100@gmail.com

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСОБЛИВОСТЕЙ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ НА КОГНІТИВНІ МОЖЛИВОСТІ СТУДЕНТІВ

Анотація. Стаття присвячена використанню можливостей комп'ютерної методики та результатам аналізу її використання для дослідження взаємозв'язку між компонентами інтелекту, рисами особистості та особливостями нервової системи (ОНС) досвідчених фахівців та студентів-магістрів у професіях, пов'язаних з пізнавальною діяльністю. Наводиться опис психологічних тестів, що реалізовані у складі цифрової технології, розробленої за участю авторів і використаною для дослідження інших аспектів впливу цифровізації навчання (модифікований тест структури інтелекту Р. Амтхауера, визначення психологічних типів за Майерс-Бріггс, оригінальна та модифікована методики Хільченка-Макаренка для вимірювання сили та функціональної рухливості нервових процесів, у т.ч. в умовах дії перешкод), а також результати дослідження: особистостей нервової системи та перешкодостійкості під час виконання простих пізнавальних завдань, впливу властивостей сили нервової системи та функціональної рухливості нервових процесів на розвиток складників інтелекту та на формування особистісних властивостей. Аналіз експериментальних даних виконаний з використанням пакетів STATISTICA 5.1 та JASP. На експериментальних даних показано, що запропонована авторами дослідницька комп'ютерно орієнтована технологія забезпечує надійну оцінку ОНС випробувачів. Показано, що використання авторської технології дозволило виконати експериментальне дослідження зв'язку структурних компонентів інтелекту з ОНС – сила нервової системи, функціональна рухливість нервових процесів, пов'язаних з ними показників в умовах дії перешкод – і деяких особистісних властивостей обстежуваних. Доведено, що моделювання структурних компонентів інтелекту шляхом використання зазначених властивостей з відбором найбільш інформативних показників забезпечує високий і достовірний рівень кореляційного зв'язку на рівні 0,93 і вище. Показано можливість побудови надійних моделей зв'язку психотипологічних властивостей особистості (за двома критеріальними шкалами: інтуїція *N* – сенсорика *S* та мислення *T* – відчуття *F*) з дослідженими ОНС. За допомогою факторної моделі показано зв'язок ОНС із структурою інтелекту та структурою особистості.

Ключові слова: когнітивна діяльність; цифрові технології; структура інтелекту; особливості нервової системи; експериментальне дослідження; JASP; STATISTICA 5.1.

1. ВСТУП

Промислова революція 4.0 і зміни, що з нею пов'язані, перебувають на стадії становлення та активного обговорення. Очевидно [1], що технології відіграватимуть центральну роль у всіх аспектах нашого життя [2], [3], а цифрова трансформація є

© О.Ю. Буров, О.П. Пінчук, 2023.

найціннішою тенденцією та викликом, особливо під час пандемії [4] та інших кризових ситуацій. Цифровізація всіх сфер діяльності людини призвела до появи нових професій, які потребують високих інтелектуальних і творчих здібностей, що забезпечували б високі професійні показники людини [5]. У цей же час актуальність набуття здатності та готовності працівника до навчальної та дослідницької діяльності підвищується [6] і стає важливим викликом для задоволення вимог ринку праці [7].

Постановка проблеми. Когнітивні здібності визначають цінність людини і як студента, і як працівника, а «полювання» на таланти та управління талантами є важливими інструментами на ринку робочої сили [8]. На шляху оцінювання людського капіталу вимірювання інтелектуальних та емоційних показників використовується дуже часто, однак для багатьох професій потрібні не лише інтелект, а й здатність мислення, навчання, постійного розвитку та відповідні риси особистості [9]. Як підкреслюють автори "Introduction to the special issue "Intelligence, Creativity and Giftedness" [10, p.120], дослідження інтелекту принесли велику користь психометрії. Емпіричні дослідження із застосуванням складної методології привели до структурних моделей, де різні види інтелекту знайшли своє місце. Проте дискусії між прихильниками різних моделей тривають, і сьогодні очевидно, що теорії інтелекту мають базуватися на дослідженні основних когнітивних процесів. Водночас сучасна економіка, яка все більше покладається на знання та інновації й дозволяє передавати деякі рутинні функції від людей комп'ютерам, як наслідок потребує від людини додаткових когнітивних компетенцій.

Відповідно виникають нові вимоги до сучасної освіти не лише з огляду на дидактику та зміст навчання, але й з точки зору місця та ролі здобувача знань в освітньому процесі, визначення його здібностей та особистісних потреб [11], оскільки рівень професіоналізму майбутніх фахівців, з одного боку, визначає ризики, з іншого – ефективність їх зменшення/подолання [12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Організація пізнавальної діяльності та формування здатності та готовності до її реалізації залишається актуальною проблемою ефективного функціонування будь-якої педагогічної системи. Зміна технологічного забезпечення освіти, використання цифрових технологій примусили вчених і практиків по-іншому поставитись до цієї проблеми [13]. Цьому передувала постановка питання щодо впливу біологічних властивостей людини на формування її когнітивних можливостей [14], а також зв'язку між фізичним та когнітивним здоров'ям протягом усього життя людини [15], відповідністю діяльності мозку фізичному тілу людини [16]. На думку вчених, все це сприяло формуванню кортикальних структур мозку людини та розвитку її креативного мислення [17] як основи оволодіння інтелектуальною діяльністю [18]. В останню чверть століття загострились дискусії психологів щодо ефекту Флінна, тобто постійного зростання загального рівня інтелекту IQ. Зважаючи на часом протилежні результати різних досліджень, можна вважати більш-менш доведеним лише факт впливу зовнішніх факторів життя на розвиток інтелекту [19]. Цей факт можна оцінювати як суттєвий насамперед у зв'язку із *цифровою трансформацією суспільства і освіти, коли створення інноваційних методів і засобів навчання в синтетичному навчальному середовищі* [20] *потребує розроблення нових підходів для збереження здоров'я та ефективності діяльності в такому середовищі* [21].

Психічне здоров'я та ефективність розумової діяльності продовжують активно досліджуватись в умовах цифрової трансформації суспільства [22] у відповідності до світових пріоритетів навчання й підготовки лідерів економіки та суспільства [23]. Дослідження креативності та інтелекту зосереджуються на вивченні глибинних механізмів впливу нейрогуморальної регуляції когнітивної діяльності [24], нейрокогнітивних механізмів мислення [25], нейромедіаторних механізмів впливу на

мозок [26], а також зв'язку властивостей центральної нервової системи та психомоторної діяльності [27].

Така важлива для навчання когнітивна властивість як увага досліджується на нейрофізіологічному рівні для навчання як людини, так і штучного інтелекту [28]. *У цифрову епоху дослідники шукають відповіді на питання щодо напрямів вивчення цих двох видів інтелекту (людини та штучного) з позицій їх взаємодії вже в найближчому майбутньому* [29], що потребує нового розуміння цілей навчання та їх структурування з позицій коректного оцінювання досягнень освітнього процесу [30]. Для розуміння реформування навчального процесу з позицій розвитку інтелектуальних можливостей здобувача знань заслуговують на увагу нейрофізіологічні докази ефективності використання підкріплення (зокрема підсвідомого) розвитку абстрактного мислення, яке є необхідним складником сучасних і прийдешніх професій [31]. Підтвердженим у низці експериментальних досліджень є зв'язок індивідуально-типологічних властивостей вищої нервової діяльності людини з успішністю навчання та надійністю професійної діяльності в розумовій сфері [32], що може використовуватися в побудові адаптивних систем навчання за критеріями не досягнення певних операційних результатів, а індивідуальних можливостей здобувача знань [33].

Мета: застосувати надійну цифрову технологію для дослідження взаємозв'язку між компонентами інтелекту, особистісними властивостями та особливостями нервової системи досвідчених фахівців та студентів-магістрів, яка була перевірена на подібних класах дослідницьких задач.

2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз останніх досліджень і публікацій підтверджує високу складність досліджень когнітивної сфери. Залучення цифрових технологій до проведення експериментальних психолого-педагогічних досліджень та аналізу та інтерпретації результатів, на нашу думку, сприяють зростанню точності висновків і врешті позитивно впливають на якість навчання в цифрову епоху. Цифрова трансформація наукової та освітньої діяльності, широке впровадження дистанційних форм сприяє реалізації існуючих і перевірених часом апаратних методик дослідження на цифрових платформах (рис. 1).

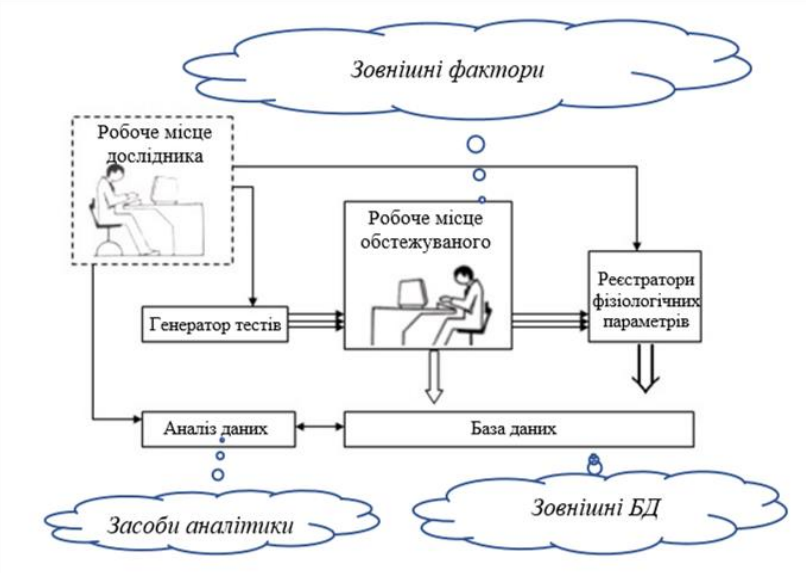

Рис. 1. Цифрова технологія досліджень когнітивної сфери

У нашому попередньому дослідженні вивчався зв'язок вербального та невербального складника інтелекту з властивостями сили та функціональної рухливості нервових процесів [34] за модифікованою методикою Хільченка-Макаренка [32] на тих же групах обстежених. У цій роботі ми розширили аналіз властивостей забезпечення когнітивних можливостей здобувачів знань у тріаді «інтелект – особистість – властивості нервової системи».

Методологічною основою нашого дослідження є комп'ютеризована методика на основі моделей і методів оцінки здібностей людини до пізнавальної діяльності за показниками структури інтелекту та особистості для професійного відбору [33]. Використовувалися такі тестові методики (цифровізовані): модифікований тест структури інтелекту Р. Амтхауера (TCI); визначення психологічних типів за Майерс-Бріггс (MBTI); оригінальна та модифікована методики Хільченка-Макаренка для вимірювання сили (СН) та функціональної рухливості (ФРНП-мод) нервових процесів. У якості приладу для тестування використовували персональний комп'ютер, розташований в окремій кімнаті (кімната для проведення психофізіологічних експериментів). Дослідник знаходився у тому ж приміщенні і у випадку об'єктивної необхідності допомагав, роз'яснюючи завдання. Виконання повного блоку запропонованих тестових завдань займало приблизно 70 хв., з урахуванням часу на ознайомлення з інструкцією до кожного тесту/субтесту. Після виконання двох з чотирьох тестів обстежуваний мав перерву для відпочинку тривалістю 5-10 хв. залежно від індивідуальних потреб. Усі тести виконувались протягом одного дня.

Відповідні показники виконання тестів були такими:

Модифікований тест структури інтелекту Р. Амтхауера. Мета застосування – визначення рівня розвитку та структурних особливостей інтелекту, а також уваги, пам'яті. Використовувались наступні субтести (у дужках позначається відповідний структурний компонент [35]): LS (перевірка мови, уміння формулювати судження), GE (понятійно-інтуїтивне мислення), AN (комбінаторні здібності, мобільність і здатність до перемикання мислення), RA (здатність до вирішення практичних обчислювальних завдань), ZR (логіко-математичне мислення), FS (образний синтез), WU (просторове мислення), ME (пам'ять, увага). Значення структурних компонентів інтелекту розраховували як суму правильних відповідей за кожним субтестом («сирі» бали), значення вербального (VI) та невербального (NI) інтелекту – як суму значень відповідно LS, GE, AN, ME та RA, ZR, FS, WU. Загальний показник IQ розраховувався як сума значень VI і NI з коригуючим коефіцієнтом 1,462 для можливості співставлення з показником загального інтелекту Векслера.

Психологічний тип за Майерс-Брігс [36]. Мета використання – оцінка здатності до певної діяльності та індивідуальних властивостей спілкування. Традиційні показники оцінки індивідуальної типології за методикою Майерс-Брігс розраховували на основі оцінки переважаючих ознак за 4 критеріальними шкалами: екстраверсія *E* – інтроверсія *I* (спрямованість свідомості), інтуїція *N* – сенсорика *S* (спосіб орієнтації в ситуації), думка / судження *J* – сприйняття *P* (метод підготовки рішень), мислення *T* – відчуття *F* (прийняття рішень). Отримані «сирі» бали ортонормовані для кожної шкали.

Методика Хільченка-Макаренка для вимірювання сили і функціональної рухливості нервових процесів [32]. Мета: оцінювання індивідуально-типологічних властивостей вищої нервової діяльності, зумовлених швидкістю та рухливістю нервових процесів. Модифікацію методики проведено в чотирьох основних напрямках: 1) використані два послідовних 3-хвилинних періоди – без перешкод і з перешкодами (у вигляді кольорових плям, які випадково з'являються на екрані дисплея з одночасною подачею звукових сигналів різних модальностей); 2) зміна відведеного часу на розв'язання задачі відбувається не на фіксовані 20 мс, а на певний відсоток від часу,

витраченого на попередню задачу; 3) розрахунок не тільки мінімального і кінцевого часу реакції, а й розрахунок додаткових характеристик динаміки виконання тесту; 4) визначення перешкодостійкості людини шляхом розрахунку співвідношення значень тих самих показників при виконанні тесту з перешкодами та без них.

Розраховували наступні показники, надалі в дослідженні та обговоренні позначені індексом «10» для тесту без перешкод і «11» для тесту з перешкодами (Рис.1):

T_o – час, що відводиться на розв'язання (тривалість пред'явлення) першої задачі; початковий темп виконання тесту.

Тривалість пред'явлення задачі на екрані T_i залежить від успішності розв'язку попередньої задачі (часу рішення i-1задачі tr_{i-1} та наявності помилки) і розраховується так:

$$T_i = T_{i-1} \cdot (1{,}0 \pm \Delta),$$

де Δ – відсоток збільшення або зменшення часу на розв'язання наступної задачі i (у цьому дослідженні Δ = 0,03) визначається часом реального рішення задачі tr та безпомилковістю err:

$$sign\Delta = \{+1,\ tr_{i-1} > T_{i-1} \vee err = 1 - 1,\ tr_{i-1} \le T_{i-1} \wedge err = 0$$

Наступні показники, надалі в дослідженні та обговоренні позначені індексом «10» для тесту без перешкод Т10 і «11» для тесту з перешкодами Т11, розраховували в такий спосіб (Рис. 2):

T_{min} – мінімальний час пред'явлення завдання, відповідає максимальному темпу роботи людини, її максимальній працездатності; максимальний темп роботи.

T_{max} – максимальний час пред'явлення завдання, при високій продуктивності, як правило $T_{max} = T_o$; мінімальний темп роботи.

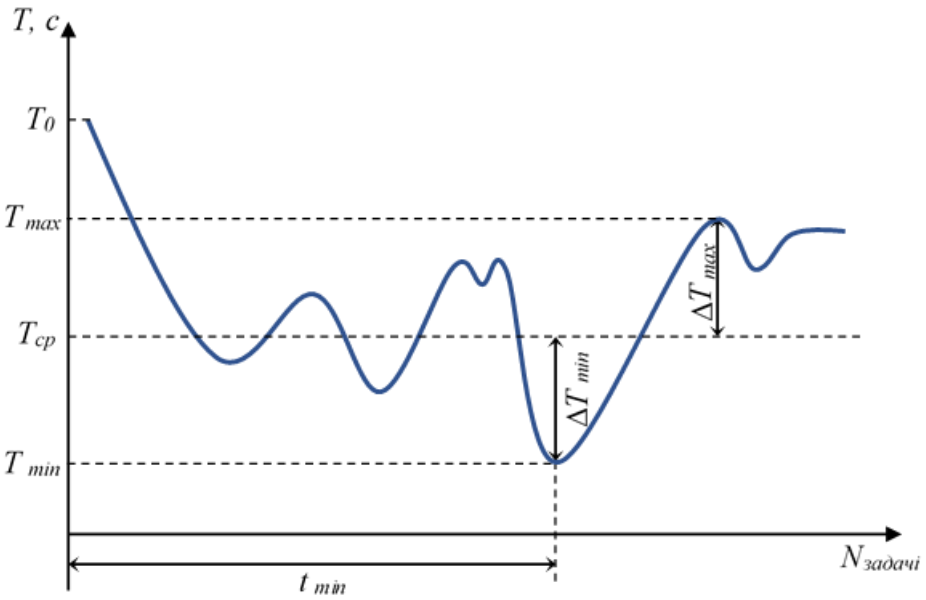

Рис. 2. Типова динаміка виконання тесту дослідження сили й рухливості нервових процесів і її показники

t_{min} – час досягнення T_{min} (максимального темпу) від початку випробування.

S – швидкість досягнення T_{min}, залежить як від індивідуально-типологічних особливостей людини, лабільності її нервової системи, так і від здатності до мобілізації:

$$S = \frac{T_0 - T_{min}}{t_{min}}.$$

T_{cp} – середній темп пред'явлення завдань. $D_{min}T10 = |T_{min} - T_{cp}|$ – відповідає мобілізаційному резерву уваги. $D_{max}T10 = |T_{max} - T_{cp}|$ – відповідає втраті мобілізації.

Такі ж показники вимірювали під час роботи з перешкодами (позначено індексом «11»). Розраховували показники перешкодостійкості (як співвідношення відповідного показника тесту 11 і тесту 10): $p1 = T_{cp}11/T_{cp}10$ – середня перешкодостійкість, $p2 = t_{min}11/t_{min}10$ – коефіцієнт впливу перешкод на час досягнення максимальної продуктивності, $p3 = S11/S10$ – коефіцієнт впливу перешкод на швидкість досягнення максимальної ефективності виконання тесту, $p4 = T_{min}11/T_{min}10$ – перешкодостійкість при максимальній продуктивності, $p5 = D_{max}T11/D_{max}T10$ – перешкодостійкість до втрати мобілізації, $p6 = D_{min}T11/ D_{min}T10$ перешкодостійкість мобілізаційного резерву уваги.

Отримані первинні дані заносили до електронної таблиці з метою подальшого аналізу, який виконували з використанням пакетів STATISTICA 5.1 та JASP, вибір яких обумовлений тим, що STATISTICA має найкращі в доступних пакетах засоби побудови множинних регресійних моделей з автоматичною перевіркою та врахуванням розмірності матриці змінних, зокрема із застосуванням покрокових методів відбору змінних, а JASP є зручним «хмарним» пакетом статистичної обробки даних з відкритим доступом для вчених і студентів.

Обстежувані. У дослідженні взяли участь 56 осіб: ГР1 – 28 досвідчених медичних працівників (18-40 років), ГР2 – 28 студентів-магістрів спеціальності «Психофізіологія» (21-23 роки).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методика ФРНП була розроблена та використовувалась дослідниками в апаратному варіанті [32] із постійною збільшення або зниження часу на розв'язання наступної задачі, що дорівнювала 20 мс [37]. У нашій модифікації методики така зміна часу визначається як відсоток від попереднього значення, що вимагало більш інтенсивного «занурення» у процес тестування з більш згладженим наближенням до максимальної спроможності обстежуваного виконувати тестові завдання. Це дозволило оцінити силу нервової системи та функціональну рухливість нервових процесів з урахуванням показників перешкодостійкості.

3.1. Поглиблене дослідження властивостей нервової системи та перешкодостійкості під час виконання простих пізнавальних завдань

Аналіз коефіцієнтів часткової кореляції показників СН і ФРНП з показниками ФРНП-мод показав переважно їх середній або низький рівень. Достовірно високий зв'язок виявлений лише для СН з $p3$ та ФРНП з $p4$. Разом з тим побудова регресійних множинних моделей з використанням покрокового аналізу методом автоматичного включення дозволила отримати для першої групи випробувачів високий достовірний зв'язок (коефіцієнт множинної кореляції $R = 0{,}84$, $p < 0{,}001$) ФРНП з 4 змінними $p4$,

надійність виконання тесту «10», середній темп у тесті з перешкодами та *p*5. Подібна модель для СН мала змінні t_{min} для обох тестів, *p*4 і D_{max}10 (R = 0,87, *p*< 0,001).

У другій групі випробувачів результати виявилися ще більш виразними. Моделі будувались за тим же методом з покроковим включенням до 4 змінних і дали такі результати: для ФРНП – D_{max}11, *S*11, *p*5 і *p*6 (*R* = 0,93, *p* < 0,001), для СН – T_{min}11, t_{min}11, D_{max}10 і *p*6 (*R* = 0,98, *p* < 0,001). Привертає увагу, що у студентів-дослідників сила нервової системи та функціональна рухливість нервових процесів проявились під час виконання тесту з перешкодами. Можливо, це пов'язано з більш високою відповідальністю та більш звичним використанням цифрових технологій, що більш чітко виявило залежність результатів саме від властивостей нервової системи.

Водночас слід зауважити, що всі інформативні змінні в моделі ФРНП пов'язані насамперед із виконанням тестових завдань в умовах дії перешкод, у той час як сила нервових процесів пов'язана і з втратою мобілізації у звичайних умовах, що не протирічить визнаним уявленням щодо цих властивостей нервової системи, але ці результати отримані не за допомогою апаратних засобів, а в дослідженнях з використанням розробленої та перевіреної на практиці з участю авторів дослідницької цифрової технології [33]. Такий результат можна вважати певною мірою валідизацією цієї цифрової технології, оскільки існуючі апаратні реалізації методики Хільченка-Макаренка є своєрідним еталоном для таких досліджень [32], але не є загальнодоступними і, тим більше, в умовах використання онлайн.

Це експериментальне дослідження було проведено з метою виявлення показників простої пізнавальної діяльності в тестових умовах, які є, з одного боку, інформативними стосовно властивостей нервової системи, а з іншого – можуть бути використані в цифрових технологіях у навчальній діяльності завдяки простій програмній реалізації з незначними витратами на час виконання. Іншим підтвердженням можливості їх застосування може бути їх інформативність і важливість у формуванні інтелектуальних і особистісних властивостей здобувачів знань. Таке дослідження проводили шляхом вивчення кореляційних зв'язків зареєстрованих показників ФРНП-мод з показниками структури інтелекту та психотипу випробувачів.

3.2. Вплив властивостей СН і ФРНП на розвиток складників інтелекту

Проведено аналіз залежності інтелекту (вербального VI та невербального компонентів NI, а також їх окремих складників) від особливостей нервової системи випробувачів під час пізнавальної діяльності.

Результати вимірювань показали, що парціальні коефіцієнти кореляції були не надто високими (не вище 0,6) як для VI, так і для NI в обох групах: медичні працівники (рис. 3) і психофізіологи-дослідники (рис. 4).

Для унаочнення результатів вимірювання нами обрані пелюсткові (зіркові) кореляційні діаграми, оскільки цей вид діаграм є графічним способом відображення багатовимірних даних у вигляді двовимірної діаграми з довільною кількістю змінних. У такий спосіб досягається візуалізація порівняльного аналізу інформативності визначених змінних між собою, а також для порівнюваних груп обстежених. Величина значення кореляції змінних пропорційна до величини змінної у кожній точці за єдиною шкалою від 0 до 1. Так утворюється «профіль» досліджуваної змінної (FMNP) для кожного чинника (вербального та невербального інтелекту).

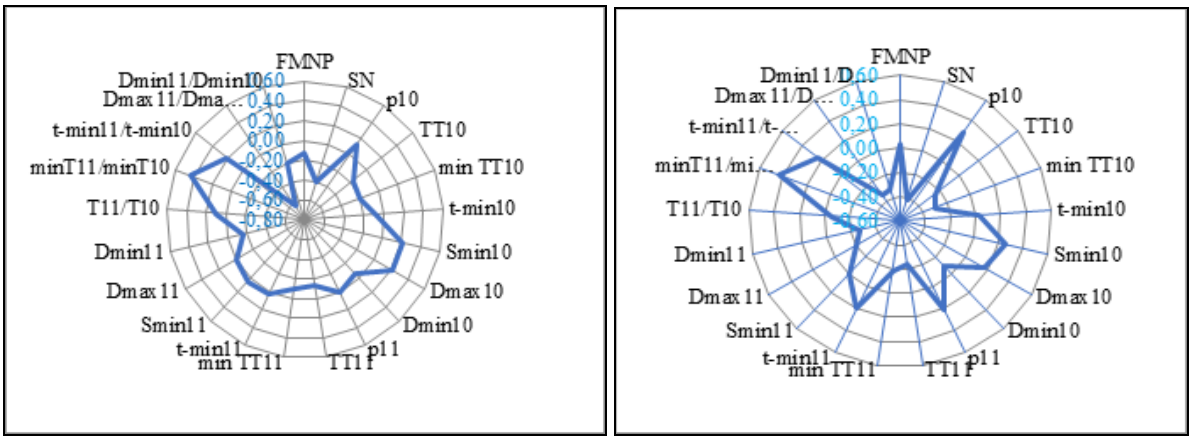

Рис. 3. Кореляційні гістограми вербального (ліворуч) і невербального інтелекту (праворуч) з особливостями нервової системи при виконанні когнітивного тесту (медичні працівники)

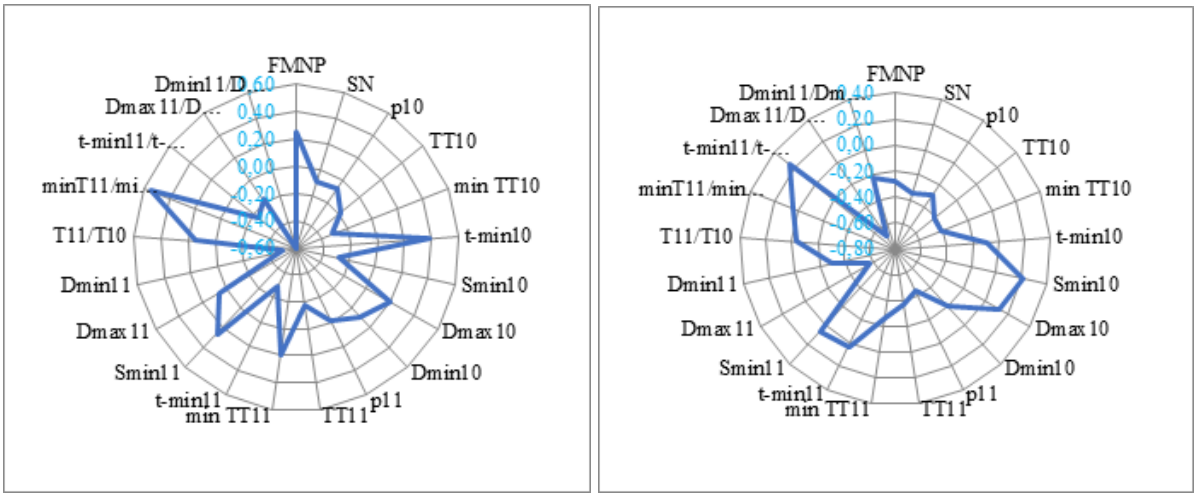

Рис. 4. Кореляційні гістограми вербального (ліворуч) і невербального інтелекту (праворуч) з особливостями нервової системи при виконанні когнітивного тесту (психофізіологи)

В обох групах виявлено низький рівень зв'язку окремих показників ФРНП і СН з інтелектом. Водночас найвищий зв'язок був продемонстрований в обох групах щодо максимального темпу роботи ($r > 0{,}4$), особливо для коефіцієнта перешкодозахищеності *p*4. Крім того, у психофізіологів був зафіксований більш високий зв'язок інтелекту з працездатністю в тестовій діяльності. Ці результати підтверджують дані, за якими люди з високим рівнем ФРНП характеризувались і високими показниками функціонального стану мозку. На думку М. В. Макаренко, ФРНП відводиться головна роль у формуванні функціональної системи центральної нервової системи за умов виконання складних розумових завдань, особливо в умовах обмеженого часу [32]. ФРНП є важливою характеристикою психофізіологічного статусу дитини, впливає на розумову працездатність учнів, а водночас на швидкість і точність пізнавальної діяльності. У людей з високими значеннями функціональної рухливості нервових процесів у всіх вікових групах відзначався високий рівень розвитку функції уваги, що необхідна при виконанні когнітивних завдань.

Щоб вивчити не тільки показники нервової системи людини, але й але й їх спільний вплив на ступінь зв'язку з компонентами інтелекту, був проведений

подальший аналіз: множинна кореляція була виміряна шляхом прямого покрокового аналізу з вибором трьох найбільш інформативних показників властивостей вищої нервової діяльності.

Було виявлено, що кореляційний зв'язок для медичних працівників був вищим за середній (VI: $r = 0,72$, $p < 0,01$; NI: $r = 0,63$, $p < 0,05$), а інформативними показниками були співвідношення p2, p4 та СН. Взаємозв'язок для психофізіологів був вищим (VI: $r = 0,79$, $p < 0,01$; NI: $r = 0,90$, $p < 0,01$), а інформативними показниками були швидкість і надійність виконання тесту. Відмінність між цими групами можна пояснити певною мірою тим, що за даними фізіологів сила нервових процесів залежить від спадково набутих властивостей нервової системи, стану здоров'я, життєвого досвіду, тренування, а також від соціальних умов, у яких виховується і розвивається людина. Тому в першій групі випробувачів (які мали в середньому більший вік і життєвий досвід) сила нервової системи проявилась під час виконання інтелектуальної діяльності більшою мірою, ніж у студентів-магістрів. Це можна вважати важливим результатом для педагогічної науки, оскільки підкреслює важливість врахування індивідуальних відмінностей здобувачів знань щодо обсягу та темпу навчальної діяльності.

Більш детальний аналіз формування інтелекту та його структури в залежності від особливостей нервової системи та особистісних властивостей дозволив виявити взаємозв'язок цих трьох груп показників, які впливають на когнітивну діяльність здобувача знань (Табл.1). Загальновизнано, для пізнавальної діяльності недостатньо інтелекту як розумового засобу. Спосіб і тип мислення можуть відігравати більш значну роль на практиці. Для порівняння їх зв'язку з властивостями нервової системи ми досліджували такий зв'язок між особистісними характеристиками (психологічного типу за Майєрс-Бригс) обстежених групи студентів за допомогою тієї ж методики (покроковий множинний регресійний аналіз з включенням нової змінної на кожному кроці) з вибором трьох найбільш інформативних показників, що дозволило побудувати надійні та інформативні моделі для кожного із складників інтелекту.

Слід підкреслити, що в таблиці 1 зазначені всі ті показники властивостей нервової системи та психологічного типу, що впливали хоча б на один складник інтелекту. З усіх змінних лише 14 виявились інформативними по відношенню до інтелекту та його компонентів, зокрема показники надійності виконання тестів «10» і «11».

Таблиця 1

Відбір інформативних показників залежності складників інтелекту від властивостей нервової системи та особистісних властивостей випробувачів

Складники інтелекту	Показники ФРНП/СН та психотипу														
	*Tmin*11	*Dmax*11	*Dmin*11	*T*10	*Tmin*10	η10	η11	ФРНП	СН	*p*4	*J*	*S*	*N*	*F*	*R*
LS		+	+										+		,96***
GE						+		+		+					,94***
NA	+	+												+	,95***
RA						+			+				+		,93**
ZR			+	+									+		,97***
FS								+				+		+	,97***
WU				+	+							+			,96***
ME			+						+		+				,94***

Примітка. Рівень достовірності коефіцієнта множинної кореляції *R* позначено так: *** відповідає $p < 0,001$, ** відповідає $p < 0,01$.

Привертає увагу той факт, що найбільш активно (у 3 з 8 показників) у моделях показників структури інтелекту представлені $D_{min}11$ (відповідає мобілізаційному резерву уваги в умовах дії перешкод) та *N* (інтуїція). До того ж ці властивості виявились важливими як для LS (уміння формулювати судження), так і для ZR (логіко-математичне мислення), тобто для виконання логічних операцій.

Отже, використання дослідницької цифрової технології дозволило виконати експериментальне дослідження зв'язку структурних складників інтелекту з властивостями нервової системи (сила нервової системи, функціональна рухливість нервових процесів і пов'язані з ними показники в умовах дії перешкод) і особистісних властивостей обстежуваних. До того ж моделювання складників інтелекту шляхом використання зазначених властивостей з відбором найбільш інформативних показників забезпечує високий і достовірний рівень кореляційного зв'язку на рівні 0,93 і вище (Табл.1).

Не викликає сумнівів, що інтелект людини не може розглядатись без урахування її особистісних властивостей, як і навпаки – особистість людини формується різними шляхами та під дією множини чинників, зокрема завдяки особливостям нервової системи, зовнішнім умовам і розвитку інтелектуальних якостей [35]. Проте цей взаємозв'язок не є однозначним через багатовекторність загального та професійного розвитку. Їх сполучення впливає на пізнавальну активність і формування професійно важливих якостей, які стають загальними вже на етапі закінчення професійного навчання в умовах цифрового освітнього середовища.

3.3. Вплив особливостей СН і ФРНП на формування особистісних властивостей обстежених

Дослідження зазначеного впливу та його вагомість вивчали за даними, отриманими в описаному вище експерименті з групою студентів-магістрів, що відповідає сформульованій ідеї щодо сформованості професійно важливих якостей студентів старших курсів. Використали методику аналізу, що і в п. 3.2 – побудова моделей психологічних властивостей особистості в залежно від особливостей сили нервової системи та функціональної рухливості нервових процесів, а також розвинутих на час дослідження складників інтелекту випробувачів. Кількість чинників, які були в моделі, за методом покрокового множинного регресійного аналізу, обмежили 3, як і в попередньому випадку.

Показники психотипологічних властивостей особистості обмежили аналізом двох критеріальних шкал: інтуїція *N* – сенсорна *S* (спосіб орієнтації) та мислення *T* – відчуття *F* (прийняття рішень), які за даними ряду дослідників найбільше впливають на професійну придатність до розумової діяльності.

Було встановлено, що для надійної оцінки інтуїції достатньо таких трьох показників: $T10$, $T_{min}10$, СН. Водночас $R = 0{,}80$, $p < 0{,}01$. Це означає, що перешкодостійкість (різних аспектів) не є важливою для прояву інтуїції. До того ж часткова кореляція з СН є негативною, тобто вираженість типологічної властивості «інтуїція» зростає зі зниженням сили нервової системи.

Умовно протилежний тип – сенсорний – описувався моделлю з такими показниками: $T10$, $D_{min}11$, $D_{max}11$; $R = 0{,}84$, $p < 0{,}01$ Отже, для обох психотипів, пов'язаних із способом орієнтації, найбільше значення мав середній темп виконання задач, але для сенсорного важливими виявлено мобілізаційний резерв уваги та втрату уваги в умовах дії перешкод.

Для моделей аналізу та оцінки мислення *T* шляхом автоматичного покрокового аналізу виділені такі інформативні показники: СН, $t_{min}10$, ФРНП; $R = 0{,}95$, $p < 0{,}001$.

Цей результат можна вважати дещо неочікуваним, особливо з урахуванням того, що функціональна рухливість нервових процесів мала зворотну залежність, тобто коефіцієнт часткової кореляції був від'ємним.

Модель для типу відчуття мала такі показники: *S*11, VI, $t_{min}10$; $R = 0{,}81$, $p < 0{,}01$. Слід відзначити, що це єдиний показник психотипу, що описувався моделлю з урахуванням компонентів інтелекту (але із зворотною залежністю), але в водночас і з показниками швидкості рішення тестових задач – в тесті з перешкодами та часом досягнення мінімального темпу в тесті без перешкод.

Слід підкреслити, що в цілому зв'язок загальної розумової здатності був вищим у першій групі (медичні працівники), ніж у студентів ($r = 0{,}6$ і $0{,}4$ відповідно) на рівні коефіцієнтів часткової кореляції. Можна припустити, що практичний досвід і загальний розвиток важливіші у такому типі когнітивних завдань, ніж особливості нервової системи [34].

З метою вивчення можливого групування досліджених трьох груп властивостей людини, що виявляються під час пізнавальної діяльності, використали факторний аналіз, метод головних компонент з варімаксним обертанням (хмарний пакет статистичних програм відкритого доступу JASP).

Дискримінанта функція розподілу змінних виділила 3 фактори з рівнем значущості $p < 0{,}001$ за критерієм χ^2 (Табл. 2). Ми використали різну кольорову заливку комірок таблиці, щоб підвищити унаочнення груп показників та їх розподіл за виокремленими факторами.

Привертає увагу те, що перший фактор поєднує властивості нервової системи за результатами використання методики ФРНП-мод, зокрема показники надійності виконання тесту η10 і η11. Окрім цих показників фактор має складник інтелекту WU (просторове мислення). Цей результат потребує подальшого вивчення, хоча, на перший погляд, може розглядатися як очікуваний через те, що тест структури інтелекту накладає певні обмеження на час виконання завдань, а субтест WU є для більшості людей найбільш складним і таким, що потребує максимальної концентрації уваги. Цей фактор можна назвати фактором властивостей нервової системи (Ф1).

Другий фактор об'єднує 6 складників інтелекту з вивчених і три розрахункових показники перешкодостійкості (*p*2, *p*3, *p*4) та часу досягнення максимальної продуктивності в тесті з ФРНП-мод без перешкод. Причому показник пам'яті (ME) не увійшов до жодного фактору. Цей фактор можна визначити як фактор інтелектуальних можливостей (Ф2) з урахуванням перешкодостійкості під час виконання простих когнітивних задач.

Третій фактор об'єднує психотипологічні властивості з перешкодостійкістю (показники p1, p4) і часом досягнення максимальної продуктивності в обох тестах ФРНП-мод, що дозволяє вважати його особистісним фактором (Ф3). Привертає увагу те, що цей фактор має складник інтелекту LS (перевірка мови, уміння формулювати судження), що виглядає логічним і зрозумілим з огляду на прояв людської особистості.

Таблиця 2

Факторна структура досліджуваних показників

		Ф1	Ф2	Ф3
T_{min}**T11**	Мінімальний час пред'явлення завдання у Т11	– 0.980		
***T*10**	Середній час пред'явлення завдань у Т10	– 0.976		
T_{min}**T10**	Мінімальний час пред'явлення завдання у Т10	– 0.952		
η10	Надійність виконання завдань у Т10	0.911		
D_{min}**11**	Мобілізаційний резерв уваги в Т11	– 0.897		
D_{min}**10**	Мобілізаційний резерв уваги в Т10	– 0.891		0.547
η 11	Надійність виконання завдань у Т11	0.874		
D_{max}**10**	Зниження якості виконання тесту Т10, втрата мобілізації	0.626		
D_{max}**11**	Зниження якості виконання тесту Т10, втрата мобілізації	0.613		
WU	Просторове мислення	0.423		
RA	Здатність до вирішення практичних обчислювальних завдань		0.768	
ZR	Логіко-математичне мислення		0.719	
AN	Мобільність і здатність до перемикання мислення		0.643	
FS	Образний синтез		0.604	
LS	Уміння формулювати судження		0.531	0.593
***p*2**	Коефіцієнт впливу перешкод на час досягнення максимальної продуктивності		0.518	
GE	Понятійно-інтуїтивне мислення		0.495	
***p*4**	Перешкодостійкість при максимальній продуктивності		0.484	0.562
t_{min}**10**	Час досягнення T_{min} у тесті 10		– 0.481	0.423
***p*3**	Коефіцієнт впливу перешкод на швидкість досягнення максимальної ефективності		– 0.466	
J	Судження			0.623
***p*1**	Середня перешкодостійкість			0.617
T	Мислення			0.604
I	Інтроверсія			0.477
S	Сенсорика			0.450
N	Інтуїція			0.417
F	Відчуття			0.404

Важливим у результатах факторного аналізу є те, що жодна з груп тріади досліджених властивостей (нервової системи – інтелекту – особистісні) не була виділена як окрема. Усі вони були представлені в кожному факторі, насамперед показники функціональної рухливості нервової системи, запропоновані та реалізовані у використаній авторській цифровій технології. Це дозволяє використовувати останню як дослідницьку в психолого-педагогічних дослідженнях, так і в діагностичних цілях при побудові адаптивних систем навчання, що базуються не на результатах навчальних досягнень, а на індивідуально-психологічних особливостях здобувача знань.

4. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Отримані в нашому дослідженні результати показують, що запропонована авторами дослідницька технологія гарантує надійність оцінювання особливостей нервової системи обстежених: *програмна* (цифрова) реалізація методики оцінювання ОНС забезпечує співпадіння результатів з існуючими *апаратними* версіями, що захищені патентами, але не є загальнодоступними, а в умовах використання онлайн і поготів.

Використання дослідницької цифрової (комп'ютерно орієнтованої) технології дозволило виконати експериментальне дослідження зв'язку структурних компонентів інтелекту з особливостями нервової системи обстежених (силою нервової системи, функціональною рухливістю нервових процесів, пов'язаних з ними показників в умовах дії перешкод) і деяких особистісних властивостей обстежених (інтуїція, сенсорика та мислення).

Доведено, що моделювання структурних компонентів інтелекту шляхом використання зазначених властивостей з відбором найбільш інформативних показників забезпечує високий і достовірний рівень кореляційного зв'язку (множинний коефіцієнт кореляції $R = 0{,}93$ при $p < 0{,}01$ і вище).

Показано можливість побудови надійних моделей зв'язку психотипологічних властивостей особистості (за двома критеріальними шкалами: інтуїція *N* – сенсорика *S* та мислення *T* – відчуття *F*) з дослідженими ОНС. За допомогою факторної моделі показано зв'язок ОНС із структурою інтелекту та структурою особистості.

Запропонована цифрова технологія може бути використана для поглибленого вивчення взаємозв'язку інтелекту та особистісних властивостей з ОНС. Перспективними питаннями є уточнення та використання моделей, побудованих за описаною методикою, для індивідуалізації навчання в умовах інформаційного навчального середовища та побудови адаптивних навчальних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] S. Kozák, E. Ružický, J. Štefanovič and F. Schindler, "Research and education for industry 4.0: Present development". *Cybernetics & Informatics (K&I)*. 2018. P.1-8. (in English)

[2] I. Yoon, "17 ways technology could change the world by 2027". https://www.weforum.org/agenda/2022/05/17-ways-technology-could-change-the-world-by-2027. Accessed 14.11.2022. (in English)

[3] О. Ю. Буров, "Технології й інновації в діяльності людини ери інформації: інформація і технології". *Інформаційні технології та засоби навчання*. 2015, 49(5), 16–25. doi: https://doi.org/10.33407/itlt.v49i5.1274 (in Ukrainian)

[4] S. Reddy and Morelix A. "Companies now face an urgent choice: go digital or go bust". *2020 World Economic Forum*, 19 Oct 2020. URL: https://www.weforum.org/agenda/2020/10/digital-transformation-or-bust/ (in English)

[5] Kim Jinyoung and Park Cyn-Young, "Education, Skill Training, and Lifelong Learning in the Era of Technological Revolution". *Asian Development Bank Economics Working Paper Series*. # 606, (January 2020). (in English)

[6] Jane Bozarth, "Guild Masters on the Future of Learning". August 11, 2021. *The Learning Guild*. https://www.learningguild.com/insights/266/guild-masters-on-the-future-of-learning/?utm_campaign=research-gm21&utm_medium=link&utm_source=execsummary (in English)

[7] "The Future of Jobs: The Triple Returns of Social Jobs in the Economic Recovery". May 2022. *World Economic Forum*. URL: www.weforum.org/report/jobs-of-tomorrow-2022. Accessed 02.11.2022 (in English)

[8] R. Jesuthasan and Q. Chan, "What talent means in the post-COVID-19 workplace". *World Economic Forum*. URL: https://www.weforum.org/agenda/2020/08/work-talent-human-capital-covid-19/ (in English)

[9] K. Lindquist, T. Wager, H. Kober, E. Bliss-Moreau and L. Barrett, "The brain basis of emotion: A meta-analytic review". *Behavioral and Brain Sciences*, 2012, 35(3), 121-143. doi:10.1017/S0140525X11000446 (in English)
[10] Todd I. Lubart, Heinz Holling and Dmitry V. Ushakov, "Introduction to the special issue "Intelligence, Creativity and Giftedness", *Learning and Individual Differences*, V. 52 (2016), 120. DOI:10.1016/j.lindif.2016.09.004 (in English)
[11] "Schools of the Future: Defining New Models of Education for the Fourth Industrial Revolution", *2020 World Economic Forum.* [online] Access: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Schools_of_the_Future_Report_2019.pdf. (in English)
[12] "Global Risks Report 2022", *World Economic Forum* (weforum.org). https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2022 (in English)
[13] Andy Clark. "Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science". *Behavioral and Brain Sciences*, 2013, 36, 181–253 doi:10.1017/S0140525X12000477 (in English)
[14] D. Kimura, "Biological influences on cognitive function". *Behavioral and Brain Sciences*, 11(2), 200-200. doi: https://doi.org/10.1017/S0140525X00049451 (1988). (in English)
[15] F. Gomez-Pinilla and C. Hillman, "The influence of exercise on cognitive abilities". *Comprehensive Physiology*, 2013, 3(1), 403–428. doi: https://doi.org/10.1002/cphy.c110063 (in English)
[16] M. Tsakiris, "My body in the brain: a neurocognitive model of body ownership". *Neuropsychologia*, 2010, 48(3):703-12. (in English)
[17] J. DeFelipe, "The evolution of the brain, the human nature of cortical circuits, and intellectual creativity". *Front. Neuroanat.* 2011, 5:29. doi: https://doi.org/10.3389/fnana.2011.00029 (in English)
[18] R. J. Sternberg, "Transformational vs. Transactional Deployment of Intelligence". *Journal of Intelligence*. 2021; 9(1):15. https://doi.org/10.3390/jintelligence9010015 (in English)
[19] Bernt Bratsberg and Ole Rogeberg, "Flynn effect and its reversal are both environmentally caused". *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2018, 115. 201718793. 10.1073/pnas.1718793115. (in English)
[20] Е. П. Попечителев и А. Ю. Буров, "Синтетическая обучающая среда: особенности проектирования". *Інформаційні технології і засоби навчання.* 2018, 66, № 4, 1-13. doi: https://doi.org/10.33407/itlt.v66i4.2427 (In Russian)
[21] Y. Nosenko and A. Sukhikh, "The method for forming the health-saving component of basic school students' digital competence." *Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume II: Workshops*. No. 2393. CEUR Workshop Proceedings, 2019 (in English)
[22] В. Ю. Биков, "Цифрова трансформація суспільства і розвиток комп'ютерно-технологічної платформи освіти і науки України". *Матеріали методологічного семінару НАПН України «Інформаційно-цифровий освітній простір України: трансформаційні процеси і перспективи розвитку»*. 4 квітня 2019 р. / За ред. В.Г. Кременя, О.І. Ляшенка. К, 2019. С.20-26.
[23] H. Gibson and S. Rochelle, "Want to Build Better Leaders? Focus on Mindset, Skills, Knowledge". *Harvard Business School Working Knowledge*. 07 Dec 2021. https://hbswk.hbs.edu/item/want-to-build-better-leaders-focus-on-mindset-skills-knowledge (in English)
[24] A. Saniotis, J. P. Grantham, J. Kumaratilake and M. Henneberg, "Neuro-hormonal Regulation Is a Better Indicator of Human Cognitive Abilities Than Brain Anatomy: The Need for a New Paradigm". *Front. Neuroanat.* 2020, 13:101. doi: 10.3389/fnana.2019.00101 (in English)
[25] Weitao Zhang, Zsuzsika Sjoerds and Bernhard Hommel, "Metacontrol of human creativity: The neurocognitive mechanisms of convergent and divergent thinking", *NeuroImage*, Volume 210, 2020, 116572, ISSN 1053-8119, doi: https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116572. (in English)
[26] L. R. Lizarraga-Valderrama, "Effects of essential oils on central nervous system: Focus on mental health". *Phytotherapy Research*. 2021; 35: 657–679. doi: https://doi.org/10.1002/ptr.6854 (in English)
[27] J. B. Finke and H. Schächinger, "Central Sympathetic Nervous System Effects on Cognitive-Motor Performance". *Exp Psychol*. 2020 Mar; 67(2):77-87. doi: 10.1027/1618-3169/a000475. PMID: 32729404
[28] G. W. Lindsay, "Attention in Psychology, Neuroscience, and Machine Learning". *Front. Comput. Neurosci.* 2020, 14:29. doi: 10.3389/fncom.2020.00029 (in English)
[29] A. C. Neubauer, "The future of intelligence research in the coming age of artificial intelligence – With a special consideration of the philosophical movements of trans- and posthumanism (invited paper for a special issue 'The future of intelligence research')". *Intelligence*, V. 87, 2021/07/01. 101563. doi: https://doi.org/10.1016/j.intell.2021.101563 (in English)
[30] L. Bardach, S. Oczlon, J. Pietschnig, and M. Lüftenegger, "Has achievement goal theory been right? A meta-analysis of the relation between goal structures and personal achievement goals". *Journal of*

Educational Psychology, 2020, *112*(6), 1197–1220. doi: https://doi.org/10.1037/edu0000419 (in English)
[31] A. Cortese, H. Lau and M. Kawato, "Unconscious reinforcement learning of hidden brain states supported by confidence". *Nat Commun* 11, 4429, 2020. doi: https://doi.org/10.1038/s41467-020-17828-8 (in English)
[32] М. В. Макаренко, "Роль індивідуально-типологічних властивостей вищої нервової діяльності людини в успішності навчання та надійності професійної діяльності". *Фізіол. журн.* 2002, 48, N 2, С. 125
[33] O. Yu. Burov, O. P. Pinchuk, M. A. Pertsev and Vasylchenko, "Use of learners' state indices for design of adaptive learning systems". *Information technologies and learning tools*. 2018, vol. 68, no. 6. 20–32 doi: https://doi.org/10.33407/itlt.v68i6.2715 (in English)
[34] O. Burov et al., "Influence of Properties of the Nervous System on Cognitive Abilities". In: Ayaz H., Asgher U., Paletta L. (eds) Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering. AHFE 2021. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2021, vol 259. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-80285-1_14 (in English)
[35] Е. Е. Туник, "Тест интеллекта Амтхауэра. Анализ и интерпретация данных". СПб, Речь, 2009, 96 с. (In Russian)
[36] Бен Шнейдерман, "Психология программирования: человеческие факторы в вычислительных и информационных системах". Москва. Радио и Связь, 1984, 304 с. (In Russian)
[37] И. Р. Левит, С. В. Нестеровская, Л. Н. Корсуненко, А. Ю. Буров, "Зависимость уровня умственной работоспособности операторов от функциональной подвижности нервных процессов". ЧФ: Проблемы психологии и эргономики. 2005, №3а, с. 106-107 (In Russian)
[38] В. В. Рибалка, О. Ю. Буров та Н. Д. Віннік, "Загальна структура інтелекту та особистості: погляд крізь призму лідерства. Інтелектуальні здібності у структурі особистості старших підлітків як умова розвитку обдарованості", *Матеріали наук.-практ. семінару*, 8 черв. 2012 р., м. Київ / Ін-т обдарованої дитини НАПН України. К., 2012. С. 4–13.

Матеріал надійшов до редакції 13.12.2022 р.

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR THE RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE NERVOUS SYSTEM FEATURES ON THE STUDENTS' COGNITIVE ABILITIES

Oleksandr Yu. Burov
Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher
Leading Researcher of Department of Digital Transformation of the NAES of Ukraine
Institute for Digitalisation of Education of the NAES of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Senior Research Fellow
University of Vienna, Vienna, Austria
ORCID ID 0000-0003-0733-1120
ayb@iitlt.gov.ua

Olha P. Pinchuk
PhD (in Pedagogics), Senior Researcher
Deputy Director for Scientific Experimental Work
Institute for Digitalisation of Education of the NAES of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-2770-0838
opinchuk100@gmail.com

Abstract. The article is devoted to the description of the computer method and the results of the analysis of its use for the study of the relationship between the components of intelligence, personality traits and features of the nervous system (FNS) of experienced professionals and master's students in professions related to cognitive activity. It is given a description of psychological tests which are implemented as part of digital technology, developed with the participation of the authors and used to study other aspects of the impact of digitization of education (modified R. Amthauer intelligence structure test, determination of psychological types according to Myers-Briggs, original and modified Khilchenko-Makarenko methods for measuring the strength and functional mobility of nervous processes, including the conditions of the action of interferences), as well as the results of research: nervous system personalities and resistance to interferences during the performance of simple cognitive tasks, the influence of the properties of

the strength of the nervous system and the functional mobility of nervous processes on the development of the components of intelligence and on the formation of personal traits. The analysis of experimental data was performed using STATISTICA 5.1 and JASP packages. The experimental data demonstrated that the research digital technology proposed by the authors, provides a reliable assessment of the subjects' FNS. It is shown that the use of research digital technology made it possible to carry out an experimental study of the relationship between the structural components of intelligence and the FNS – the strength of the nervous system, the functional mobility of nervous processes, the indicators associated with them under the conditions of the effects of interferences – and some personal traits of the testers. It has been proven that the modeling of the structural components of intelligence by using the specified properties with the selection of the most informative indicators provides a high and reliable level of correlation at the level of 0.93 and higher. The possibility of building reliable models of the connection of psychotypological personality properties (according to two criterion scales: intuition N – sensory S and thinking T – feeling F) with the studied FNS is shown. With the help of a factor model, the connection of FNS with the structure of intelligence and the structure of personality is shown.

Keywords: cognitive activity; digital technology; structure of intelligence; features of the nervous system; experimental research; JASP; STATISTICA 5.1.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

[1] S. Kozák, E. Ružický, J. Štefanovič and F. Schindler, “Research and education for industry 4.0: Present development”. *Cybernetics & Informatics (K&I)*. 2018. pp.1-8. (in English)

[2] I. Yoon, “17 ways technology could change the world by 2027”. [Online]. Available: https://www.weforum.org/agenda/2022/05/17-ways-technology-could-change-the-world-by-2027. Accessed: 14.11.2022. (in English)

[3] O. Yu. Burov, “Technologies and innovations in human activity of the information era: information and technologies”. *Information Technologies and Learning Tools*. 2015, 49(5), 16–25. doi: https://doi.org/10.33407/itlt.v49i5.1274. (in Ukrainian)

[4] S. Reddy and Morelix A. “Companies now face an urgent choice: go digital or go bust”. *2020 World Economic Forum*, 19 Oct 2020. [Online]. Available: https://www.weforum.org/agenda/2020/10/digital-transformation-or-bust/ (in English)

[5] Kim Jinyoung and Park Cyn-Young, “Education, Skill Training, and Lifelong Learning in the Era of Technological Revolution”. *Asian Development Bank Economics Working Paper Series*. # 606, (January 2020). (in English)

[6] Jane Bozarth, “Guild Masters on the Future of Learning”. August 11, 2021. *The Learning Guild*. [Online]. Available: https://www.learningguild.com/insights/266/guild-masters-on-the-future-of-learning/?utm_campaign=research-gm21&utm_medium=link&utm_source=execsummary (in English)

[7] “The Future of Jobs: The Triple Returns of Social Jobs in the Economic Recovery”. May 2022. *World Economic Forum*. [Online]. Available: www.weforum.org/report/jobs-of-tomorrow-2022. Accessed: 02.11.2022 (in English)

[8] R. Jesuthasan and Q. Chan, “What talent means in the post-COVID-19 workplace”. *World Economic Forum*. [Online]. Available: https://www.weforum.org/agenda/2020/08/work-talent-human-capital-covid-19/ (in English)

[9] K. Lindquist, T. Wager, H. Kober, E. Bliss-Moreau and L. Barrett, “The brain basis of emotion: A meta-analytic review”. *Behavioral and Brain Sciences*, 2012, 35(3), 121-143. doi: https://doi.org/10.1017/S0140525X11000446. (in English)

[10] Todd I. Lubart, Heinz Holling and Dmitry V. Ushakov, “Introduction to the special issue “Intelligence, Creativity and Giftedness”, *Learning and Individual Differences*, V. 52 (2016), 120. doi: https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.09.004. (in English)

[11] “Schools of the Future: Defining New Models of Education for the Fourth Industrial Revolution”, *2020 World Economic Forum*. [Online]. Available: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Schools_of_the_Future_Report_2019.pdf. (in English)

[12] “Global Risks Report 2022”, *World Economic Forum* (weforum.org). [Online]. Available: https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2022 (in English)

[13] Andy Clark. “Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science”. *Behavioral and Brain Sciences*, 2013, 36, 181–253 doi: https://doi.org/10.1017/S0140525X12000477. (in English)

[14] D. Kimura, “Biological influences on cognitive function”. *Behavioral and Brain Sciences*, 11(2), 200-200. doi:10.1017/S0140525X00049451. (1988). (in English)
[15] F. Gomez-Pinilla and C. Hillman, “The influence of exercise on cognitive abilities”. *Comprehensive Physiology*, 2013, 3(1), 403–428. doi:https://doi.org/10.1002/cphy.c110063. (in English)
[16] M. Tsakiris, “My body in the brain: a neurocognitive model of body ownership”. *Neuropsychologia,* 2010, 48(3):703-12. (in English)
[17] J. DeFelipe, “The evolution of the brain, the human nature of cortical circuits, and intellectual creativity”. *Front. Neuroanat*. 2011, 5:29. doi: 10.3389/fnana.2011.00029. (in English)
[18] R. J. Sternberg, “Transformational vs. Transactional Deployment of Intelligence”. *Journal of Intelligence*. 2021; 9(1):15. doi: https://doi.org/10.3390/jintelligence9010015. (in English)
[19] Bernt Bratsberg and Ole Rogeberg, “Flynn effect and its reversal are both environmentally caused”. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2018, 115. 201718793. doi: https://doi.org/10.1073/pnas.1718793115. (in English)
[20] E. P. Popechitelev and O. Yu Burov, “Synthetic learning environment: design features” *Information Technologies and Learning Tools.* 2018, 66, № 4, 1-13. doi: https://doi.org/10.33407/itlt.v66i4.2427. (in Russian)
[21] Y. Nosenko and A. Sukhikh . “The method for forming the health-saving component of basic school students’ digital competence”, *Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume II: Workshops*. No. 2393. CEUR Workshop Proceedings, 2019 (in English)
[22] V. Yu. Bykov, “Digital transformation of society and the development of the computer-technological platform of education and science of Ukraine”. *Materials of the methodological seminar of the National Academy of Sciences of Ukraine "Information and digital educational space of Ukraine: transformational processes and development prospects". April 4, 2019 / Edited by V.G. Kremenya, O.I. Lyashenka*, K., 2019, 20-26.
[23] H. Gibson and S. Rochelle, “Want to Build Better Leaders? Focus on Mindset, Skills, Knowledge”. *Harvard Business School Working Knowledge*. 07 Dec 2021. [Online]. Available: https://hbswk.hbs.edu/item/want-to-build-better-leaders-focus-on-mindset-skills-knowledge (in English)
[24] A. Saniotis, J. P. Grantham, J. Kumaratilake and M. Henneberg, “Neuro-hormonal Regulation Is a Better Indicator of Human Cognitive Abilities Than Brain Anatomy: The Need for a New Paradigm”. *Front. Neuroanat*. 2020, 13:101. doi: https://doi.org/10.3389/fnana.2019.00101. (in English)
[25] Weitao Zhang, Zsuzsika Sjoerds and Bernhard Hommel, “Metacontrol of human creativity: The neurocognitive mechanisms of convergent and divergent thinking”, *NeuroImage*, Volume 210, 2020, 116572, ISSN 1053-8119, doi: https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116572. (in English)
[26] L. R. Lizarraga-Valderrama, “Effects of essential oils on central nervous system: Focus on mental health”. *Phytotherapy Research*. 2021; 35: 657–679. doi: https://doi.org/10.1002/ptr.6854. (in English)
[27] J. B. Finke and H. Schächinger, “Central Sympathetic Nervous System Effects on Cognitive-Motor Performance”. *Exp Psychol*. 2020 Mar; 67(2):77-87. doi: https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000475. PMID: 32729404
[28] G. W. Lindsay, “Attention in Psychology, Neuroscience, and Machine Learning”. *Front. Comput. Neurosci*. 2020, 14:29. doi: https://doi.org/10.3389/fncom.2020.00029. (in English)
[29] A. C. Neubauer, “The future of intelligence research in the coming age of artificial intelligence – With a special consideration of the philosophical movements of trans- and posthumanism (invited paper for a special issue ‘The future of intelligence research’)”. *Intelligence*, vol. 87, 2021/07/01. 101563. doi: https://doi.org/10.1016/j.intell.2021.101563. (in English)
[30] L. Bardach, S. Oczlon, J. Pietschnig, and M. Lüftenegger, „Has achievement goal theory been right? A meta-analysis of the relation between goal structures and personal achievement goals”. *Journal of Educational Psychology,* 2020, *112*(6), 1197–1220. doi: https://doi.org/10.1037/edu0000419. (in English)
[31] A. Cortese, H. Lau and M. Kawato, “Unconscious reinforcement learning of hidden brain states supported by confidence”. *Nat Commun* 11, 4429, 2020. doi: https://doi.org/10.1038/s41467-020-17828-8. (in English)
[32] M. V. Makarenko, “The role of individual-typological properties of a person's higher nervous activity in the success of education and the reliability of professional activity”. *Fiziol. zhurn.* 2002, vol. 48, no. 2, C. 125 (in Ukrainian).
[33] O. Yu. Burov, O. P. Pinchuk, M. A. Pertsev and Vasylchenko, “Use of learners' state indices for design of adaptive learning systems”. *Information technologies and learning tools.* 2018, vol. 68, no. 6. pp. 20–32 doi: https://doi.org/10.33407/itlt.v68i6.2715. (in English)
[34] O. Burov et al., “Influence of Properties of the Nervous System on Cognitive Abilities”. In: Ayaz H., Asgher U., Paletta L. (eds) Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering. AHFE 2021.

Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, vol 259. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-80285-1_14. (in English)

[35] E. E. Tunik, "Amthauer intelligence test. Data analysis and interpretation". SPb, Rech, 2009, 96 p. (in Russian)

[36] Ben Shneiderman, "Psychology of Programming: Human Factors in Computing and Information Systems". Moskva, Radio i Svyaz", 1984, 304 p. (in Russian)

[37] I. R. Levit, S. V. Nesterovskaia, L. N. Korsunenko, and A. Yu. Burov, "Dependence of the level of mental performance of operators on the functional mobility of nervous processes". ChF: *Problemy psihologii i ergonomiki*. 2005, №3a, pp. 106-107 (in Russian)

[38] V. V. Rybalka, O. Yu. Burov, and N. D. Vinnyk, "General structure of intelligence and personality: A view through the lens of leadership. Intellectual abilities in the personality structure of older teenagers as a condition for the development of giftedness", *Materialy nauk.-prakt. seminaru, 8 cherv. 2012 r., m. Kyiv / In-t obdarovanoi dytyny NAPN Ukrainy*. *K*., 2012, pp. 4–13. (in Ukrainian)

(cc) BY-NC-SA

This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.