

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ НАВЧАННЯ НА ОСНОВІ
АНАЛІЗУ МОМЕНТІВ СТАТИСТИЧНИХ РОЗПОДІЛІВ
ШВИДКОСТЕЙ НАВЧАЛЬНИХ ДІЙ
(НА МАТЕРІАЛАХ ВИВЧЕННЯ ІНФОРМАТИКИ)**

Проаналізовано методом моментів трансформації форми експериментальних статистичних розподілів швидкостей навчальних дій. Показано, що залежності цих моментів від фази навчання можуть виступати як інтегральні показники формування нових синтетичних умінь та відповідних понятійних одиниць для групи суб'єктів навчання. Матеріали можуть бути використані для автоматизації навчання, у тому числі дистанційного.

Ключові слова: модель навчання, знання, уміння та навички, статистичні розподіли, метод моментів, великі групи студентів.

Головін Н. Б. Исследование процессов обучения на основе анализа моментов статистических распределений скоростей учебных действий (на материалах изучения информатики). В статье анализируются методом моментов трансформации формы экспериментальных статистических распределений скоростей учебных действий. Показано, что зависимости этих моментов от фазы обучения могут выступать в качестве интегральных показателей формирования новых синтетических умений и соответствующих понятийных единиц для группы субъектов обучения. Материалы могут быть использованы для автоматизации обучения, в том числе дистанционного.

Ключевые слова: модель обучения, знания, умения и навыки, статистические распределения, метод моментов, большие группы студентов.

Holovin M. B. Investigation of Learning Process Based on Analyse of Statistic Moment Velocity Distributions of Learning Actions (on the Materials of Computer Science Learning). An analyse was made, using the method of moments of form transformation of experimental statistic distributions of learning actions velocity. The dependence of these moments from the learning phase can be used as integral indicators of new synthetic abilities forming and appropriate conceptional units for the groups of subject learning. Materials can be used for automatization of education, including distance education.

Key words: model of education, knowledge, abilities, statistical distribution, moments method, big groups of students.

Постановка наукової проблеми та її значення. Комп'ютерне автоматизоване навчання може бути потужним джерелом діагностичної інформації стосовно пізнавальних процесів та формування нових умінь. 100 студентів за два заняття можуть виконати понад 10 тис. практичних завдань за умови, що на одне завдання затрачається в

середньому дві хвилини. У цих умовах можуть проявитися статистичні закономірності навчальних процесів.

На швидкість виконання завдань впливають різноманітні стохастичні фактори. Суб'єкти навчання різняться рівнем підготовки, вродженими та набутими в процесі навчання здібностями діяльною мотивацією, емоційним станом, мірою втомленості. Варіативність здатностей до діяльності проявляється в розподілі суб'єктів навчання за часом (швидкістю) виконання завдань. Ці розподіли змінюють свою форму в процесі навчання й можуть бути цінним матеріалом для аналізу відповідних навчальних процесів.

Мета статті – дослідити психологічні пізнавальні механізми в контексті ідей когнітивної психології на базі експериментального статистичного матеріалу, отриманого під час вивчення інформатики.

Аналіз останніх досліджень із цієї проблеми. Ідеологія пізнавальної психології, у межах якої можна формалізувати віртуальну ментальну основу мислення – когнітивну структуру, є цікавим базисом для модельних підходів стосовно розумових процесів. У дослідженнях когнітивної психології (Ф. Бартлетт, С. Палмер, У. Найссер, Е. Рош, М. Минський, Б. Величковський і ін.) [1] домінує думка, що інтелектуальну діяльність детермінує структурна організація пізнавальної сфери. Жодна з когнітивних структур ніколи не радикально нова, кожна є модифікацією попередньої в часі конструкції. Зокрема, У. Найссер вважає, що «ті види інформації, для яких у нас нема схем, ми просто не сприймаємо» [2]. Когнітивні структури еволюціонують у режимі їхньої диференціації [3], і, як наслідок, вони часто утворюють ієрархічні конструкції.

Згідно з Ж. Ф. Рішаром [4], знання про діяльність мають два складники: процедурний та декларативний. Ці знання мають, відповідно, імпліцитний та експліцитний характер. Декларативна інформація формалізована у вигляді слів, описує властивості, факти предметної сфери та прийоми дій. Актуальна тут також і гіпотеза А. Пайвіо про подвійне кодування знань у вербальній та візуальній модальностях. Модальності пов'язані та почергово домінують у діях.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. На рис. 1 представлено чотири експериментальні графіки. Це розподіли швидкостей виконання завдань. Кожний із них відповідає окремій спробі виконання пакету завдань (рис. 1.1 – перша спроба, і, відповідно, рис. 1.4 – четверта). Завдання

були однорідними, вони калібрувалися за складністю та кількістю матеріалізованих дій. Калібрування складності здійснювалося на основі роботи [5]. За змістом завдання стосувалися практичних дій у менеджері файлів та текстовому редакторі, зокрема реалізовувалося копіювання, перенесення файлів, а також звичайне редагування тексту, де в певних завданнях теж фігурували дії з копіювання та перенесення. Стан файлової системи та тексту контролювала оригінальна програма, яку створив автор.

Точки на графіках (рис. 1) відповідають експериментальним даним. Товста лінія, яка з'єднує ці точки, це апроксимація розподілу сумою нормальних кривих. Самі нормальні криві розміщені під експериментальною кривою та позначені тонкими лініями.

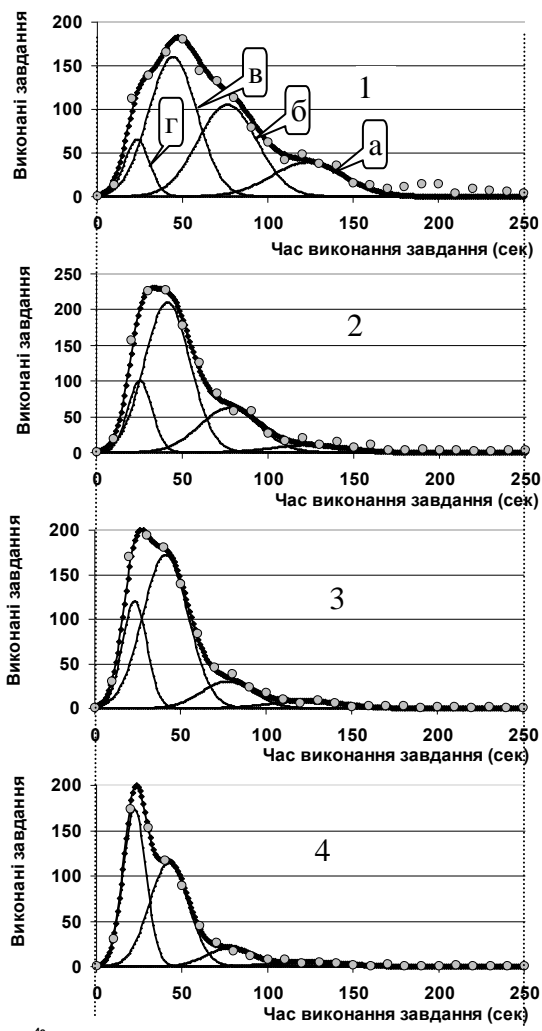


Рис. 1. Експериментальні розподіли кількостей виконаних завдань за часом їх виконання. Апроксимація експериментальних контурів сумами нормальних кривих

Нормально розподілені здатності до діяльності. Як згадувалося вище, на час виконання завдання впливає багато факторів. Прийнято вважати: якщо значення безперервної випадкової величини формується під впливом великого числа незалежних випадкових факторів, причому сила впливу кожного окремого фактору мала й не може домінувати серед інших, а характер їх впливу – адитивний [6], то така величина утворює нормальний розподіл.

Аналітично окрема нормальна крива описується за формулою [6, 7]:

$$I = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

Де $I(t)$ – сумарна кількість виконаних завдань різними суб'єктами навчання; t – час виконання завдання; t_0 – центр розподілу по часу; σ – дисперсія (ширина) контуру; A – максимальна амплітуда.

Наявність у статистичному експериментальному розподілі кількох нормальних контурів пояснюють тим, що,

крім стохастичних факторів, які мало впливають на час виконання завдання, є і фактор сильного впливу. Цей фактор автор роботи пов'язує з наявністю серед суб'єктів навчання індивідумів із різними рівнями сформованості понятійного базису діяльності, умінь та навичок.

Із рис. 1 випливає, що практичні навчальні дії дають широкі, асиметричні, експериментальні розподіли. У процесі навчання ці контури змінюють свою форму. Унаслідок аналізу експериментальних результатів встановлено, що:

а) кожен з експериментальних розподілів зручно апроксимувати сумою нормальних (гаусових) кривих, зсунутих одна відносно одної за часом;

б) трансформація форми розподілу в процесі навчання вдало реалізується в межах механізму перерозподілу вкладів нормальних смуг без їх суттєвого зсуву та зміни дисперсії.

Базові аспекти моделі. На початковому етапі навчання, коли ще не сформовані навички професійної роботи, кожна елементарна дія усвідомлюється та фіксується в полі уваги. Обмеженість короткочасної пам'яті числом Міллера не дає змоги охопити весь ланцюг елементарних дій [8]. Поле уваги вимагає кількаразового перевантаження упродовж виконання окремого завдання, і це сповільнює діяльність. На кінцевому етапі навчання сукупності логічно пов'язаних елементарних дій пов'язуються в синтетичні уміння, які й усвідомлюються теж цілісно. Поле уваги не переключається так часто, як на початку навчання, діяльність автоматизується й сильно прискорюється.

Трансформацію контурів розподілів у процесі навчання автор пояснює, як переходить студентів через різні стани сформованості умінь, коли під час виконання завдань досягаються нові якісні понятійні рівні сформованості знань, умінь та навичок. Це означає, що в процесі навчання сукупності окремих логічно пов'язаних сенсомоторних та інтелектуальних дій суб'єктів навчання стають цілісними, синтетичними, стереотипними. Ці сформовані сукупності дій отримують понятійне (вербальне) позначення й виконуються значно швидше, ніж окремі дії, не доведені до автоматизму. Так, наприклад, під час виконання завдання на копіювання файлів через буфер обміну на початковому етапі навчання виділяють такі фази: 1) пересування файловою системою для знаходження папки джерела файлів; 2) відкриття

папки джерела файлів; 3) відмітка потрібних файлів у цій папці; 4) копіювання файлів у буфер обміну; 5) пересування файловою системою до цільової папки; 6) відкриття цільової папки; 7) вставка файлів із буферу обміну. Аналогічні фази можна бачити під час копіювання або переносу фрагмента тексту в текстовому редакторі. На кінцевому етапі навчання, після кількох вдалих виконань кожного завдання, окремі фази виконання, відповідні конкретним діям, зливаються. Вони значною мірою переходять у сенсомоторну сферу, усвідомлюються тільки синтетичні концептуальні цільові положення. Так, дії 1–4 зливаються в синтетичну дію копіювання в буфер обміну, а дії 5–7 – у дію вставки з буферу. Згодом копіювання та вставка теж перестають фіксуватися і всі дії повністю інтегруються в дію копіювання. Отож смуги розподілу можна співвіднести із чотирма станами:

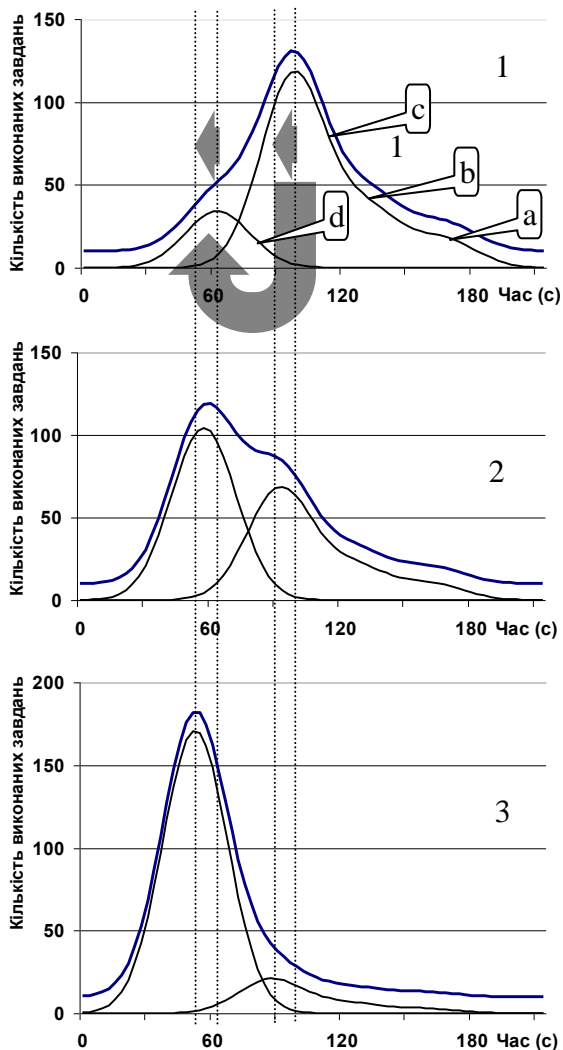


Рис. 2. Модельні контури розподілів часу виконання завдань. Процес перекачки та зміщення складових смуг

а) усі дії виглядають як елементарні й усвідомлюються (рис. 1.1a); б) одне синтетичне уміння сформоване (рис. 1.1b); в) два синтетичних уміння сформовано (рис. 1.1c); г) усі елементарні дії інтегровані й усвідомлюються як одна операція (рис. 1.1d).

Модельовання трансформації смуг розподілу швидкостей виконання завдань. Було проведено модельне дослідження, у якому асиметричний статистичний розподіл представлявся сукупністю із чотирьох нормальних контурів. Модельовалися трансформації контурів розподілу. Кожен із рисунків відповідає окремій фазі навчання. Будемо вважати в моделі, що рис. 2.1 відповідає одній із початкових спроб виконати пакет завдань; рис. 2.2 – спробі в середній період навчання, а рис. 2.3 – спробі в кінцевому періоді. Площа з-під смуг тривалої роботи (рис. 2.1a, 2.1b, 2.1c) поступово «перекачується» в смугу швидкої діяльності (рис. 2.1d).

У моделі передбачалося дослідити на фоні домінантного процесу «перекачки» нормальних контурів також і можливі їх невеликі зсуви впродовж навчання. Тому були проведені модельні дослідження для випадку незмінного положення смуг, лінійного й нелінійного їх зсувів.

Для визначення положення модельних розподілів на осі часу та фіксації трансформації їх форми в процесі навчання був застосований відомий метод моментів [7]. Розглядалися чотири перших моменти розподілів: центр тяжіння, дисперсію, асиметрію, гостровершинність.

Аналітичне представлення моментів

Початкові моменти. Ці моменти в контексті проблеми, яка аналізується, мають вигляд:

$$S_n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} t^n \rho(t) dt, \quad (2)$$

де $\rho(t)$ – це контур розподілу студентів за часом виконання завдань; $n=0, 1, 2, 3, 4 \dots$ – порядок моменту. **Площу під контуром розподілу** обчислюють нульовим початковим моментом $S_0(t)$. Ця величина визначає кількість виконаних завдань усіма суб'єктами навчання.

Центральні моменти обчислюють за формулами:

$$M_n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (t - \bar{t})^n \rho(t) dt;$$

$$\mu_n(t) = M_n(t) / S_0(t);$$

де $\bar{t} = S_1 / S_0$; $n=1, 2, 3, 4, \dots$

На основі початкових і центральних моментів першого і четвертого порядків обчислюються такі інтегральні характеристики контурів.

Центр тяжіння кривої характеризує положення розподілу на осі абсцис. Він збігається з положенням максимуму для симетричної кривої. Однак центр тяжіння як інтегральний параметр більш інформативний і чутливий до змін форми контуру, ніж положення максимуму. Інтерпретуючи розподіл, як розподіл маси плоскої фігури, наприклад контуру вирізаного з картону, можна стверджувати, що центр тяжіння – це параметр, який указує на точку рівноваги мас. У контексті цієї статті центр тяжіння можна інтерпретувати, як середній час виконання завдань. Цей параметр має такий вигляд:

$$\bar{t} = S_1 / S_0.$$

Дисперсія кривої оцінює ширину контуру кривої. Вона вказує, наскільки широко розкидані значення величини відносно середнього; у цій роботі йдеться про варіативність часу. Дисперсію позначають як $\mu_2(t)$ або $\sigma^2(t)$:

$$\sigma^2(t) = \mu_2(t) = M_2(t) / S_0(t).$$

Асиметрія кривої дорівнює нулю для симетричної кривої. Контур із крутою лівою та похилою правою стороною має додатну асиметрію за крутої правої та похилої лівої – асиметрія від’ємна. Асиметрія безрозмірна, абсолютна величина. Вона має такий вигляд:

$$\gamma_1 = \mu_3(t) / \sigma^3.$$

Гостровершинність кривої додатна в тих випадках, коли вершина загострена порівняно з нормальною, і від’ємна – коли вершина притуплена. Цей параметр абсолютний та безрозмірний:

$$\gamma_2 = \mu_4(t) / \sigma^4 - 3.$$

Аналіз процесу навчання через спектри моментів розподілів.

Аутентичним підходом, який пропонується в цій роботі, є ідея аналізу за методом моментів трансформації форми розподілів швидкостей навчальних дій. Залежності моментів від фази навчання

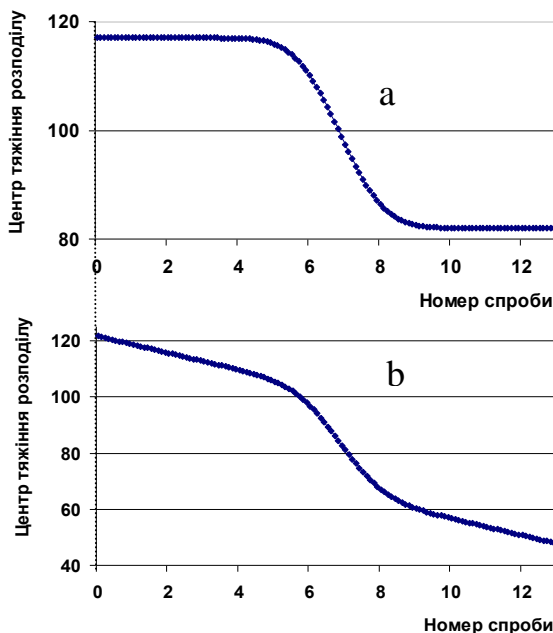


Рис. 3. Модельні залежності середнього часу виконання завдання від номера спроби а) без зсуву; б) лінійний зсув; в) нелінійний зсув

можуть виступати як інтегральні показники формування нових синтетичних умінь та відповідних понятійних одиниць. Фазу навчання визначають номером спроби. Згадані залежності моментів розподілів від фази навчання пропонують називати спектрами моментів. Саме ці спектри моментів, а не окремі значення моментів, можуть радикально підсилити аналіз процесу навчання великих груп людей та виділити об’єктивні риси цього процесу.

Аналіз першого спектра моментів. Спектри моментів обчислювалися для трьох варіантів модельного експерименту. В усіх випадках у

зміні форми контуру розподілу домінував процес перерозподілу амплітуд окремих смуг. Однак у першому варіанті смуги, що є складниками контуру розподілу, не зсувалися в процесі навчання (рис. 3а). У другому (рис. 3б) та третьому (рис. 4а) варіантах існував невеликий зсув смуг: лінійний та, відповідно, нелінійний. Моделювання засвідчує, що центральні частини цих кривих характеристичні. Варіації швидкості перерозподілу вказують на те, що кут нахилу центральної лінійної частини кривих до осі абсцис тим більший, чим швидше відбувається перерозподіл смуг.

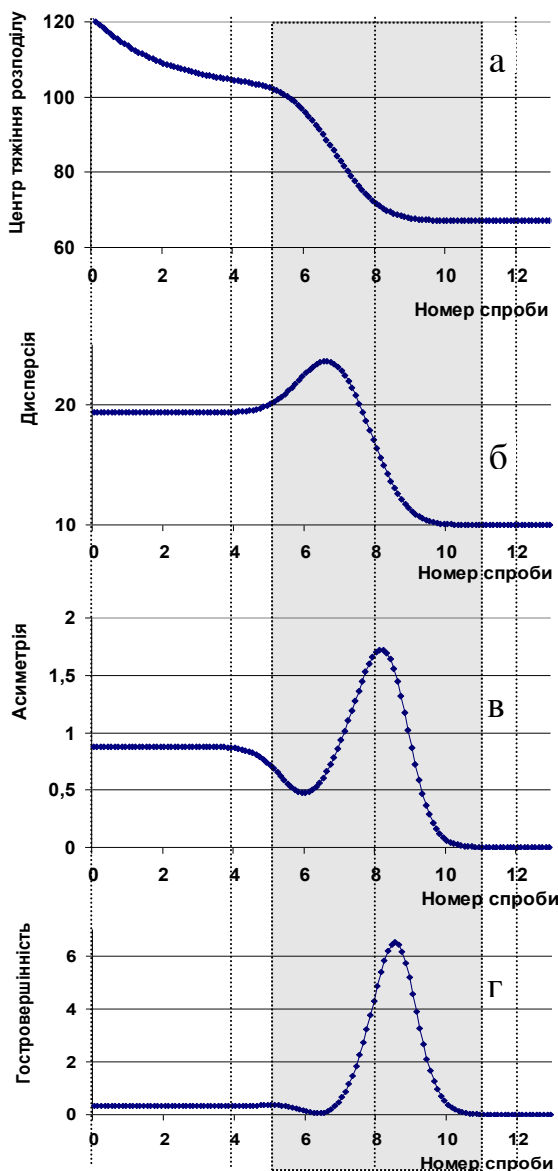


Рис. 4. Модельні залежності а) середнього часу, б) дисперсії, в) асиметрії, г) гостровершинності від номера спроби для чотирьох нормальних складників

За відсутності зсувів смуг початкова частина графіків утворює поличку (рис. 3а). Коли відбуваються невеликі лінійні та нелінійні зсуви смуг, простежується нахил початкової частини спектра першого моменту до осі абсцис (рис. 3б, 4а).

Аналіз другого, третього, четвертого спектру моментів. Модельні залежностей дисперсії, асиметрії, гостровершинності розподілу від етапу навчання представлені на рис. 4. Аналізується випадок, коли існує невелике нелінійне зміщення контурів розподілів у сторону скорочення часу виконання завдання.

Потрібно відзначити, що спектри моментів 2–4 порядків, які описують дисперсію, асиметрію та гостровершинність розподілів, слабо залежать від зміщення контуру розподілу загалом, але сильно змінюються залежно від перерозподілу смуг контуру, тобто від трансформації форми контурів. Згадані спектри моментів мають полички в ділянці початкових та фінальних спроб виконання завдання.

Важливим в моделі є те, що друга, третя та четверта смуги (тривалого

виконання завдань) є чистими донорами. Площа з-під них перерозподіляється в першу зліва смугу (швидкого виконання завдань), яка є чистим акцептором.

Додатково було проведено також і модельний експеримент, у якому другий зліва нормальний контур працював, як транзитний. Цей контур спочатку діяв як акцептор. Він накопичував площу, а потім ставав донором, тобто починав віддавати. Кількість екстремумів у спектрах моментів зростає. Ці спектри якісно відрізняються від представлених нижче відповідних експериментальних залежностей (рис. 5). Отже, спектри моментів, представлені на рис. 4, є характерними для випадку одного донора й одного акцептора.

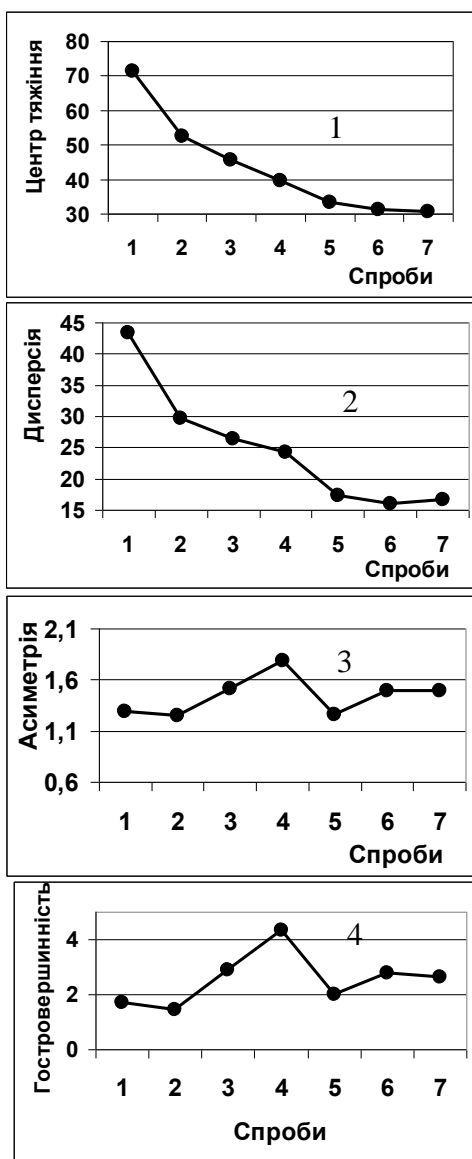


Рис. 5. Спектри моментів експериментальних розподілів

Порівняння експериментальних і модельних спектрів моментів. На рис. 5 представлені спектри моментів експериментальних розподілів. Експериментальні й модельні криві спектрів моментів виявили якісну кореляцію. На модельних спектрах рис. 4, так само, як і на експериментальних рис. 5, можна виявити схожі зони. Однак модельна й експериментальна осі спроб не збігаються. Експериментальні спектри зсунуті відносно модельних вправо. На матеріалі «файловий менеджер і текстовий редактор» авторам не вдалося зафіксувати початок процесу навчання. Це пояснюється тим, що студенти першого курсу прийшли зі школи з деякими знаннями, уміннями й навичками. Серед студентів були й такі, котрі мали або частково, або повністю сформовані знання, уміння та навички (рис. 1.1). У модельному експерименті передбачалося, що на початковому етапі автоматизованої діяльності не було. Весь експериментальний спектр моментів поміщається в тонованій ділянці модельного. Можна спостерігати такі якісні збіги в ході експериментальних і модельних кривих.

Спектри моментів «центр тяжіння розподілу» виявив повний якісний збіг модельних та експериментальних кривих. І перші, і другі криві мають тенденцію майже до лінійного скорочення середнього часу виконання завдань групою студентів у середній та кінцевій фазах навчального процесу. На кінцевій фазі навчання ці графіки поступово переходять у полички. Середній час виконання завдання групи не змінюється під час переходу до наступної спроби. Процес навчання закінчений.

Кінцева зона дисперсії модельних та експериментальних кривих також схожа. Простежується монотонне зменшення дисперсії та вихід її на поличку.

Спектри моментів «асиметрія» та «гостровершинність» мають якісний збіг. Так, на початковому етапі навчання в експериментальних і модельних спектрах моментів простежується ріст відповідних параметрів. Далі, у середині навчання, досягається максимальне значення параметра. Кінець процесу навчання супроводжується спадом відповідного параметра та виходом на поличку. Як і в попередніх випадках, поличка означає те, що відповідний параметр уже не змінюється.

Модельний експеримент, у якому було змодельовано ситуацію перекачки площ через проміжний нормальний контур, дав якісно інші спектри моментів порівняно з експериментальними. У 2–4 спектрах моментів з'явилися додаткові екстремуми, які не простежуються на експерименті.

Висновки.

- Наведені вище статистичні дослідження дають змогу виявити найзагальніші закономірності навчання, які проявляються тільки як консолідований результат діяльності великої групи учнів. Цей результат не може бути отриманий під час аналізу навчальних дій окремих індивідумів.

- Модельний підхід, який ґрунтується на доктринах когнітивної психології та математичній обробці статистичних розподілів, показав, що формування синтетичних понятійних одиниць та умінь є домінантним важелем скорочення часу виконання практичних завдань з інформатики.

- Експеримент підтвердив модельні уявлення про процес навчання як процес, що має багаторівневу структуру. Окремі рівні засвоєння навчального матеріалу описуються в розподілі швидкостей навчальних дій через зсунуті, один відносно одного, у шкалі часу, нормальні контури. У процесі навчання великих груп студентів трансформація статистичного розподілу швидкостей навчальних дій реалізується завдяки механізму «перекачки» площ між нормальними контурами розподілу.

• Аналіз процесу навчання великої групи студентів зручно здійснювати через оцінку трансформації форми розподілу методом моментів. Так, центральна лінійна частина першого спектра моментів відображає швидкість процесу навчання. Спектри другого, третього та четвертого моментів візуалізують тонкі механізми конкретного навчального процесу.

Література

1. Холодная М. А. Психология интеллекта: парадоксы исследования / М. А. Холодная. – СПб. : Питер, 2002. – 272 с.
2. Найссер У. Познание и реальность. Смысл и принципы когнитивной психологии / У. Найссер. – М. : Прогресс, 1981. – 225 с.
3. Чуприкова Н. И. Психология умственного развития: Принцип дифференциации / Н. И. Чуприкова. – М. : Столетие, 1997. – 478 с.
4. Ришар Ж. Ф. Ментальная активность. Понимание, рассуждение, нахождение решений / Ж. Ф. Ришар : сокр. пер. с фр. Т. А. Ребеко. – М. : Ин-т психологии РАН, 1998. – 232 с.
5. Головін М. Б. Кількість і складність розумових дій у контексті діагностики когнітивних процесів, що детермінують практику навчального програмування // Вісн. Черкас. ун-ту. Сер. Пед. науки. Вип. 125. – 2008. – С. 34–41.
6. Гласс Дж. Статистические методы в педагогике и психологии / Дж. Гласс. – М. : Прогресс, 1976 г. – 494 с.
7. Крамер Г. Математические методы статистики / Г. Крамер. – М. : Мир, 1975. – 648 с.
8. Миллер Дж. Магическое число семь, плюс или минус два / Дж. Миллер // Панов Д. Ю., Зінченко В. П. // Инженерная психология. – М. : Прогресс, 1964. – С. 172–225.