

УДК 013.77:004.42; 37.013.03:004. 588(073)

М. Б. Головін, Н. М. Головіна

Received March 17, 2015

Revised April, 7, 2015

Accepted April, 13, 2015

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ПІЗНАВАЛЬНИХ ПОНЯТІЙНИХ СХЕМ ІЄРАРХІЧНОГО ТИПУ МЕТОДАМИ СТАТИСТИКИ

Проведено статистичні дослідження часових закономірностей формування структури знань ієрархічного типу у великих груп студентів. Упроваджувалась ідея покращення ефективності навчання завдяки застосуванню завдань на конструювання понятійних схем ієрархічного типу. Розроблено оригінальну тренінгову програму для автоматизації навчальних дій та для експериментальних досліджень цього процесу. Під час дослідження аналізувалися розподіли часу, витраченого студентами на побудову понятійних ієрархій. Показано, що ці розподіли добре апроксимуються сумою нормальних кривих, що зміщені одна відносно одної за шкалою часу. Кожен окремий нормальний контур являв собою окремий рівень сформованості понятійних схем. У кожній наступній спробі виконання завдання експериментальний розподіл змінював свою форму. Показано, що процес формування знань великими групами студентів може бути представлений через оригінальний механізм «перекачки» площ від нормальних контурів довготривалого виконання до контурів швидкісного виконання завдань. Саме цей механізм пояснює зміну форми експериментального розподілу. Для інтегральних оцінок у тенденціях зміни форми контурів розподілів часу, що його студенти витратили на побудову понятійних ієрархій, використано модифікований статистичний метод моментів. Оригінальність підходу полягала в тому, що, на відміну від стандартного методу моментів, пропонувалося розглядати не окремі інтегральні характеристики, а їх залежності від номера спроби. Досліджено трансформації форми експериментального розподілу від спроби виконання завдання через залежності від номера спроби: центра ваги розподілу, його дисперсії, асиметрії та гостровершинності. Запропоновано математичну апроксимацію процесу зміни положення центра ваги розподілу. Показано, що тенденція трансформації експериментального контуру розподілу така: центр ваги розподілу плавною кривою рухається в бік швидкісного виконання завдань, дисперсія зменшується, форма розподілу наближається до нормальної. Нормальна форма експериментального розподілу вказує на завершення процесу формування структури знань.

Ключові слова: пізнавальна схема, пізнавальна структура, ієрархічна понятійна конструкція, статистичні розподіли, метод моментів.

Holovin M. B., Holovina N. M. Research of Cognitive Conceptual Schemes of Hierarchical Type Regularities Formation by Means of Statistical Methods. The statistical research of time regularities of the hierarchical type knowledge structure formation in large groups of students has been carried out. The idea of improvement of the effectiveness of learning through the usage of conceptual problems in constructing hierarchical type conceptual schemes is implemented. The original training program for teaching activities automatization and for experimental researches of this process as well, was developed. In the studying process the distribution of time spent by students to build conceptual hierarchies was analyzed. It is shown, that these distributions are well approximated by the sum of normal curves, which are shifted relatively to each other on the timeline. Every individual normal circuit presented a separate level of development of conceptual schemes. In every next attempt of task completion the experimental division changed its form. It is shown that the knowledge formation process of large groups of students can be represented by the original mechanism of «swapping» of areas of normal contours of long-term performance to the high-speed circuits of tasks performing. This mechanism explains the change in shape of the experimental distribution. A modified statistical method of moments was used for integrated assessments in the trends changing the shape of the contours distribution of time spent by students to build a conceptual hierarchy. The originality of the approach was that in contrast to the standard method of moments, it was proposed not to consider some integral characteristics, and their dependence on number of attempt. The transformation of the form of the experimental distribution over time depending on the attempt of task fulfillment, depending from the number of attempt: center of gravity, its distribution, asymmetry and sharpness of the top were analyzed. The mathematical approximation process of the changes in the position of the center of gravity distribution is proposed. It is shown that the trend of transformation of the experimental distribution contour is the following. The center of gravity as a distribution curve smoothly moves toward high-speed tasks, the dispersion decreases, the form of distribution is close to normal. The normal form of the experimental distribution indicates the completion of the structure of knowledge formation.

Key words: cognitive scheme, cognitive structure, hierarchical cognitive concept, statistical distributions, method of moments.

Головин Н. Б., Головина Н. Н. Исследование закономерностей формирования познавательных понятийных схем иерархического типа методами статистики. Проведенные статистические исследования временных закономерностей формирования структуры знаний иерархического типа больших групп студентов. Внедрялась идея повышения эффективности обучения, благодаря применению задач на конструирование понятийных схем иерархического типа. Разработана оригинальная тренинговая программа для автоматизации учебных действий и экспериментальных исследований этого процесса. Во время исследования анализировались распределения времени, затраченного студентами на построение понятийных иерархий. Показано, что эти распределения хорошо аппроксимируются суммой нормальных кривых, смещенных

друг относительно друга по шкале времени. Каждый отдельный нормальный контур представлял собой отдельный уровень сформированности понятийных схем. В каждой следующей попытке выполнения задания экспериментальное распределение меняло свою форму. Показано, что процесс формирования знаний большими группами студентов может быть представлен через оригинальный механизм «перекачки» площадей от нормальных контуров длительного выполнения к контурам скоростного выполнения задач. Именно этот механизм объясняет изменение формы экспериментального распределения. Для интегральных оценок в тенденциях изменении формы контуров распределений времени, затраченного студентами на построение понятийных иерархий, использован модифицированный статистический метод моментов. Оригинальность подхода заключалась в том, что в отличие от стандартного метода моментов предлагалось рассматривать не отдельные интегральные характеристики, а их зависимости от номера попытки. Рассматривались трансформации формы экспериментального распределения от попытки выполнения задания через зависимости от номера попытки: центра тяжести распределения, его дисперсии, асимметрии и островершинности. Была предложена математическая аппроксимация процесса изменения положения центра тяжести распределения. Показано, что тенденция трансформации экспериментального контура распределения следующая: центр тяжести распределения плавной кривой движется в сторону скоростного выполнения задач, дисперсия уменьшается, форма распределения приближается к нормальной. Нормальная форма экспериментального распределения указывает на завершение процесса формирования структуры знаний.

Ключевые слова: познавательная схема, познавательная структура, иерархическая понятийная конструкция, статистические распределения, метод моментов.

Постановка наукової проблеми та її значення. Практична навчальна діяльність у сфері інформатики відбувається стосовно складних, добре формалізованих штучних об'єктів. Серед них можна назвати, зокрема, програми, бази даних, електронні таблиці, комп'ютерні мережі, обчислювальні системи. Діяльність первинна в цій сфері. Вона формує процеси сприйняття; спосіб диференціації та структурування знань; особливості зв'язків у понятійній сфері; методологію дій, як розумових, так і матеріалізованих. Число компонентів ментальних дій тут, навіть у навчальних завданнях, часто значно перевищує ту кількість, яку можна утримувати в полі уваги. Людина змушена в процесі інтелектуальної роботи масштабувати поняттями, не виходячи в процесі ментальних дій за межі магічного числа

Міллера 7 ± 2 [1]. Саме воно характеризує обсяг короткочасної пам'яті людини, поле її уваги й обсяг матеріалу, що може бути усвідомлений одномоментно. Навчальні дії поступово формують у довготривалій декларативній пам'яті відображення об'єкта навчання – пізнавальну схему. Ця схема усвідомлюється лише частинами, формується в процесі багатократного переведу уваги та абстрактно-логічного масштабування поняттями. Пізнавальна схема об'єкта навчання є частиною пізнавальної структури людини. У навчальних процесах, що стосуються сучасних технологій, існує проблема швидкого і якісного формування цілісних, несуперечливих, деталізованих структур знань великого розміру. Крім того, існує проблема діагностики навчальних процесів великих груп учнів. Окреслені вище проблеми технологічного рівня, тому у сфері природничих наук мають глобальне для освітнього процесу значення.

Аналіз досліджень цієї проблеми. У дослідженнях когнітивної психології (Ф. Бартлетт, С. Палмер, У. Найссер, Е. Рош, М. Минський, Б. Величковський та ін.) [2] простежується домінантна думка про те, що інтелектуальна діяльність детермінується структурною організацією пізнавальної сфери. Жодна з когнітивних структур не є радикально новою, кожна модифікує попередню в часі конструкцію. Когнітивні структури еволюціонують у режимі їх диференціації [3] і, як наслідок, часто утворюють ієрархічні конструкції.

Актуальною проблемою є розробка програмних засобів для підтримки навчальних процесів, у яких реалізується навчальне абстрактно-логічне масштабування понятійними одиницями. Останнє досягається під час конструювання зв'язаних понятійних ієрархій [4].

Формулювання мети та завдань статті. *Мета статті* – дослідити закономірності формування пізнавальних понятійних схем ієрархічного типу методами статистики.

Завдання статті:

– проаналізувати психологічний механізм перенесення уваги, що пов'язаний із виконанням завдань на конструювання ієрархічних понятійних структур;

– експериментально та модельно дослідити трансформацію форми контуру розподілу часу розв'язання завдань, що відбувається в процесі навчання групи;

– проаналізувати психологічну сутність розглянутих математичних моделей.

Методи та методики. Програмні засоби для дослідження пізнавальних процесів. Розроблено оригінальну навчальну програму, що підтримує конструювання понятійних ієрархій. Вікно для виконання

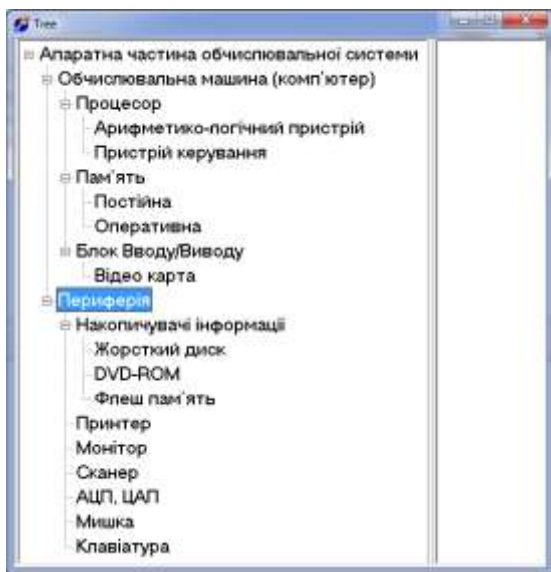


Рис. 1. Інтерфейс початкової програми. Завдання виконано

завдань у цій програмі представлено на рис. 1. Інтерфейс його складається з двох частин. Із лівого боку розміщено панель для побудови понятійної ієрархії, а з правого – панелі з компонентами для конструювання.

На початковому етапі виконання завдання панель зліва містить лише кореневий елемент дерева, котрий задає предметну область, а панель справа – список компонентів конструювання, доступний через відповідну смугу прокрутки. Порядок розміщення окремих елементів у списку випадковий.

Виконання завдання полягає в побудові деревоподібної структури за допомогою переміщення компонентів справа наліво. Перевіряється лише наявність окремих гілок дерева, а порядок їх розміщення неважливий. Як змістовне наповнення завдань використано структуру обчислювальної системи.

Ієрархічні структури добре масштабуються. Під час проектування завдань на конструювання гілки понятійного дерева можна згортати й розгортати на власний розсуд, не втрачаючи змістовної цілісності, але регулюючи при цьому кількість елементів у структурі. Останнє важливо для реалізації однорідних за складністю та кількістю дій пакетів завдань.

Великий розмір базової для завдань понятійної ієрархії дає змогу утворювати десятки завдань навколо однієї деревоподібної структури, масштабуючи її.

Інтерфейс програми забезпечує швидкі маніпуляції в ньому. Доступні переміщення мишею окремих компонентів між деревом і списком, усередині списку, в межах дерева. Існує можливість перенесення цілих гілок у межах дерева. Кількість переміщень, необхідних для виконання окремого завдання, приблизно однакова по всьому пакету. Максимальне пришвидшення маніпуляцій упродовж розв'язання завдання дає змогу зосередитися на інтелектуальних діях.

Однорідність завдань. Завдання в пакеті рівноцінні за складністю та кількістю необхідних для виконання дій. Кількість дій у цих завданнях корелює з числом елементів конструювання. Усі завдання в пакеті мали по 20 компонентів. Складність окремого завдання залежить від міри вкладеності окремих компонентів. У кожному завданні було чотири компоненти, що мали глибину вкладень чотири (рис.1).

Механізм перенесення уваги, пов'язаний із виконанням завдання. Кожен із компонентів, що містить своєму складі інші компоненти, формує свою змістовну складову, а отже спричинює локалізацію уваги на собі. Локалізації уваги сприяє усвідомлення відповідних понятійних одиниць та їхніх зв'язків. Початковий етап виконання завдання пов'язаний із понятійною одиницею «апаратна частина обчислювальної системи». Цей компонент складається з «обчислювальної машини» й «периферії». Саме ці три складники заповнюють поле уваги на початку розв'язання завдання.

Наступне заповнення поля уваги може бути таким: «обчислювальна машина», «процесор», «пам'ять», «блок вводу/виводу». Далі в полі уваги можуть опинитися «процесор», «арифметико-логічний пристрій», «пристрій керування».

Можливий різний порядок заповнення поля уваги. Так, наприклад, далі, після концентрації уваги на «обчислювальній машині», може бути залучена не гілка «процесор», а однорівнева з нею гілка «пам'ять». Незмінним під час виконання завдання лишається напрям ментальних дій у бік деталізації наявних понять, наприклад, такий: «апаратна частина обчислювальної системи», «обчислювальна машина», «процесор», «арифметико-логічний пристрій».

Як уже зазначалося вище, кожен компонент, що містить інші компоненти, ініціює стосовно себе відповідні логічні дії й усвідомлення їх. Реалізується цей механізм через вербальну петлю. Упродовж роботи вербальної петлі відбуваються логічні дії з підбору відповідних компонентів. У процесі навчання відбувається формування відповідних візерунків – «патернів» із понятійних одиниць, що одночасно перебувають у полі уваги. Якщо логічні дії стосовно якоїсь логічно завершеної сукупності понять уже відбувалися кілька разів і патерн знань утворився, то повторні дії стосовно цих понятійних одиниць відбуваються значно швидше. Вербальна петля в цьому випадку не працює в режимі тривалих пошукових ітерацій. Вона спрацьовує швидко. Супутні матеріалізовані дії відтворюють відповідний патерн

знань. Такі дії можуть погано усвідомлюватися внаслідок їх швидкоплинності.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих результатів дослідження. В експерименті брали участь 210 студентів, які багатократно виконували пакет із 10 завдань, намагаючись максимально покращити свою оцінку. Усього зроблено 3700 вимірів. Ураховувалися лише ті виміри, що стосувалися правильних виконань завдань.

Результати експерименту. Кожен окремий графік на рис. 2 є розподілом кількостей виконаних завдань за часом їх розв'язання, відображає сукупну роботу всіх студентів. Розподіл на рис. 2.1 відповідає першій спробі, на рис. 2.2 – другій спробі; на рис. 2.3 – третій і так далі. Подібний підхід розглянуто в роботі стосовно інших об'єктів навчання [5].

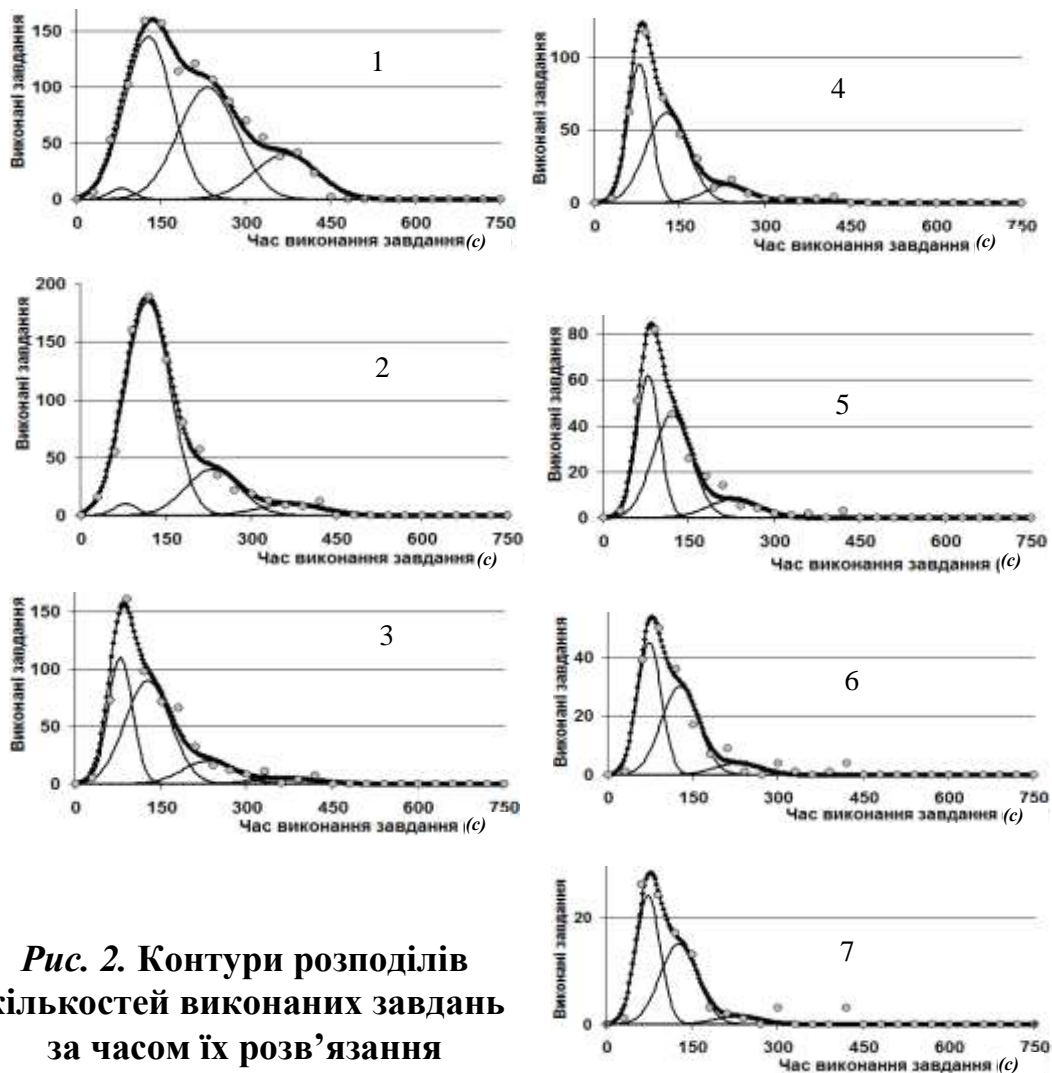


Рис. 2. Контури розподілів кількостей виконаних завдань за часом їх розв'язання

Точками на графіках рис. 2 показано експериментальні дані. Це розподіли кількості правильно виконаних завдань за часом їх розв'язан-

ня. Так, перша точка в кожному графіку накопичує в собі правильно виконані завдання в часовому проміжку від 0 до 30 секунд. Друга – від 30 до 60 секунд. Відповідно, п'ята точка, що має значення 157 на рис. 2.1, показує кількість завдань, виконаних за 120–150 секунд у першій спробі. П'ята точка на рис. 2.2 має значення 134, а на рис. 2.3 – 71. Ці точки відповідають кількості завдань, розв'язаних за 120–150 секунд, відповідно, у другій і третій спробах.

Модель процесу формування понятійних конструкцій. Апроксимація експериментальних розподілів реалізована додаванням чотирьох нормальних кривих, що зміщені між собою по осі часу. Жирні лінії на рис. 2, які з'єднують експериментальні точки, – результат такої апроксимації.

Моделювання розподілів за допомогою зміщених між собою нормальних кривих є перспективним оригінальним напрямом досліджень, який у подальшому дає змогу аналізувати процеси навчання великих груп студентів. Кожен окремий нормальний контур можна поставити у відповідність рівню сформованості понятійної структури. Ці нормальні контури зображено на рис. 2 тонкими лініями під контурами експериментальних розподілів.

Модельні уявлення про процес навчання полягають у думці, що формування понятійних патернів відбуваються не миттєво. Нормальний контур швидкісних дій охоплює повністю автоматизовані дії студентів у кожній зі спроб. Центр розподілу в точці – 78 секунд. Другий контур із центром у точці 126 секунд охоплює дії з одним не сформованим патерном. Третій і четвертий контури зміщені ще далі від початку координат. Вони відповідні діям із погано сформованими двома й трьома патернами. Дії тут не автоматизовані, відповідно, у двох і трьох сеансах концентрації уваги. Дисперсії нормальних модельних контурів різні. Найменшу дисперсію має контур швидкісних дій. Дисперсія кожного наступного контуру більша.

Модельний механізму навчання полягає в «перекачці» площі нормальних контурів повільного виконання завдань у нормальні контури швидкого розв'язання (рис. 3). Ця «перекачка» вказує на процес формування понятійних структур.

Площа кожного експериментального розподілу, зображеного на рис. 2, нормована до 1. На рис. 3 зображено частки цієї площі, відповідні першому (рис. 3.1), другому (рис. 3.2), третьому (рис. 3.3) й четвертому (рис. 3.4) нормальним розподілам у кожній спробі виконання пакета завдань.

Аналіз результатів експерименту. Розглянемо тенденції процесу формування понятійних конструкцій крізь призму рівнів їх сформованості у великих групах суб'єктів навчання.

Видно, що в першій спробі виконання пакета завдань основна кількість подій була в стані погано сформованих знань. 80 % площі експериментального розподілу сконцентровано в другому й третьому нормальних контурах (приблизно по 40 % на кожен). Частка найбільш повільних виконань завдань (четвертий контур) склала трохи менше 20 %. Площа першого контуру, що відповідає швидкому розв'язанню завдань, – незначна.

У другій спробі частка швидких виконань завдань із повністю сформованими знаннями, як і в попередній спробі, – незначна. Однак у цій спробі відбувається накопичення площі в другому нормальному контурі (75 %) за рахунок третього й четвертого. Тут сконцентровано виконання з одним несформованим патерном. У наступній (третій) спробі саме цей контур стає джерелом площі для контуру, відповідного повністю сформованим знанням. Відбувається зростання цієї категорії виконань до 33 %. У четвертій спробі цей відсоток продовжує зростати та доходить до позначки 40 %. Далі збільшення цієї категорії виконань сповільнюється.

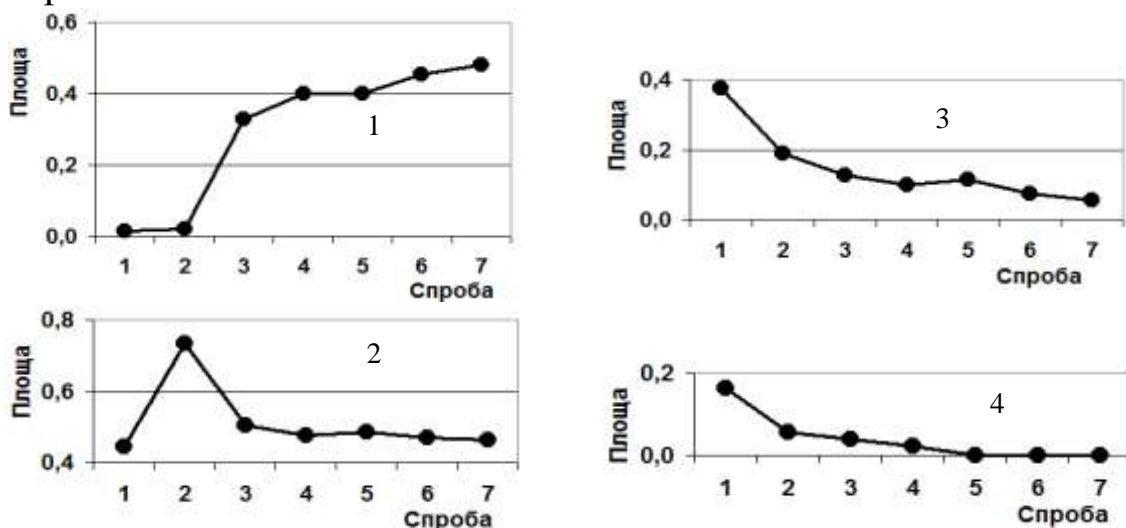


Рис. 3. Площі під нормальними складниками розподілів.
Нумерація компонентів зліва направо

У групі, яка виконує завдання на початковому етапі навчання, наявні носії всіх рівнів сформованості знань. Перерозподіл площ у процесі навчання має таку тенденцію: експериментальний розподіл зміщується в ділянку швидкісних дій студентів, звужується, його форма

трансформується в контур, максимально наближений до нормального. Останнє означає, що студенти засвоїли матеріал.

Інтегральні параметри експериментального розподілу, що обчислюються за методом моментів [6], однозначно характеризують положення розподілу на осі часу, його ширину й форму. Розглянемо нижче ці інтегральні параметри.

Центр тяжіння кривої характеризує положення розподілу на осі часу. Термін пов'язаний інтерпретацією розподілу як розподілу маси плоскої фігури, наприклад, вирізаної з картону. Центр тяжіння вказує на точку рівноваги мас. У контексті статті центр тяжіння – це **середній час виконання завдань**.

Дисперсія кривої оцінює ширину контуру кривої. Ця характеристика вказує, наскільки широко розкидані значення величини відносно середнього. У нашій роботі йдеться про **варіативність часу виконання завдання**.

Асиметрія кривої дорівнює нулю для симетричної кривої. Контур із крутою лівою та похилою правою стороною має додатну асиметрію, а контур із крутою правою та похилою лівою – від'ємну.

Гостровершинність кривої додатна, коли вершина загострена, порівняно з нормальною; від'ємна – коли вершина притуплена, нульова – для нормальної кривої. Асиметрія та гостровершинність безрозмірні, абсолютні величини.

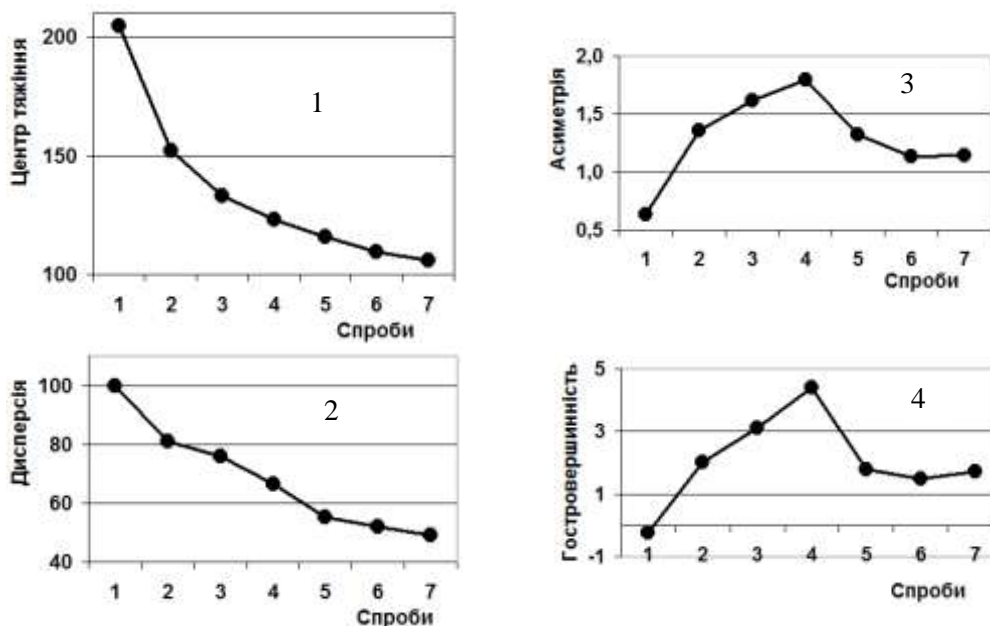


Рис. 4. Інтегральні параметри експериментальних розподілів залежно від номера спроби

Залежність середнього часу формування понятійної конструкції від номера спроби (рис. 4.1). Очевидно, що багатократне відтворення понятійних конструкції приводить до суттєвого скорочення часу, що витрачається на це. Із графіка видно, що відбулося скорочення швидкості дій майже удвічі від 204-х до 106 секунд упродовж 1–7 спроби. Це скорочення не лінійне. У роботі пропонується застосовувати експоненціальну апроксимацію експериментальної кривої $t = t_{min} + t_{max} \exp(-kn)$, де t – середній час виконання завдання, t_{min} – мінімальний середній час, t_{max} – максимальний середній час, n – номер спроби, k – коефіцієнт. Для пакета завдань, представленого в роботі, коефіцієнт $k = 0,5$. Крива на рис. 4.1 має тенденцію до виходу на полицю. Це означає, що подальші повтори вправ сильно не впливають на час формування понятійних конструкцій.

Залежність варіативності часу формування понятійної конструкції від номера спроби (рис. 4.2) зменшується в процесі навчання. Видно, що дисперсія зменшилася, як і середній час розв'язання завдання, рівно у два рази від 100 до 50 секунд упродовж 1–7 спроб.

Залежності асиметрії та гостровершинності розподілу від номера спроби (рис. 4.3; 4.4) збільшувалися на проміжку 1–4 спроби. Це означало, що експериментальний розподіл все більше й більше втрачав схожість із нормальним. Ці зміни були спричинені тим, що розподіл формують кілька конкуруючих стохастичних механізмів (рис. 3). Кожен стохастичний механізм відповідний своїй категорії студентів. Кожна категорія мала свій степінь готовності до відтворення понятійних конструкцій. Після четвертої спроби асиметрія й гостровершинність спадають. Подальше спадання цих параметрів до 0 указувало б на те, що експериментальний розподіл часу виконання завдань формує один стохастичний механізм. У сукупності з тенденціями зміни інших інтегральних параметрів це означає, що навчання закінчено й усі студенти сформували свою понятійну структуру знань.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Статистичні дослідження виявили цікаві закономірності формування структури знань. Вони проявляються як консолідований результат діяльності великих груп учнів, що не може бути отриманий з аналізу навчальних дій окремих індивідуумів.

Модельний механізм формування структури знань, який ґрунтується на доктринах когнітивної психології та математичній обробці

експериментальних статистичних розподілів, показав хорошу кореляцію з експериментом.

Підтвердилася головна гіпотеза моделі, що різні рівні засвоєння понятійних конструкцій формують свої нормальні розподіли, зміщені один відносно одного в шкалі часу виконання завдання.

Література

1. Miller George A. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two / A. Miller George // *The Psychological Review*. – 1956. – Vol. 63. – Issue 2. – P. 81–97.
2. Холодная М. А. Психология интеллекта: парадоксы исследования / М. А. Холодная. – СПб. : Питер, 2002. – 272 с.
Kholodnaya M. A. Psychology of intellect: paradoxes of research [Psychology of intellect: paradoxes of research] / M. A. Kholodnaya. – SPb. : Piter, 2002. – 272 p.
3. Чуприкова Н. И. Психология умственного развития: принцип дифференциации / Н. И. Чуприкова. – М. : Столетие, 1997. – 478 с.
Chuprikova N. I. Psychologiya umstvennogo razvitiya: Printcip differentiatcii [Psychology of intellectual development: principle of differentiation] / N. I. Chuprikova. – Moscow : Stoletie, 1997. – 478 p.
4. Головін М. Б. Автоматизація навчання програмуванню в контексті конструювання ієрархічних програмних структур / М. Б. Головін, О. І. Сомик // *Інформаційні технології в освіті*. – Херсон, 2011. – Вип. 10. – С. 58–63.
Holovin M. B. Avtomatyzatsiya navchannya prohramuvannyu v konteksti konstruyuvannya ierarkhichnykh prohramnykh struktur [Automatization of programming education in the context of hierarchical program structures construction] / M. B. Holovin, O. I. Somik // *Information Technologies in Education*. – Kherson, 2011. – Vol. 10. – P. 58–63.
5. Головін М. Б. Дослідження процесів навчання на основі аналізу моментів статистичних розподілів швидкостей навчальних дій (на матеріалах вивчення інформатики) / М. Б. Головін // *Психологічні перспективи*. – Луцьк, 2011. – Вип. 18. – С. 62–72.
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)] / M. B. Holovin // *Psychological perspectives*. – Luck, 2011. – Issue 18. – P. 62–72.
6. Крамер Г. Математические методы статистики / Г. Крамер. – М. : Мир, 1975. – 648 с.
Kramer H. Matematicheskie metody statistiki [Mathematical Methods of Statistics] / H. Kramer. – M. : Mir, 1975. – 648 p.