

УДК 378:54(004)

*Тетяна Деркач*

## **ВИЗНАЧЕННЯ КОГНІТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ СТУДЕНТІВ ПІД ЧАС НАВЧАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕЛЕКТРОННИХ РЕСУРСІВ**

Питанням впровадження засобів інформаційних технологій (ІТ) в освітній процес присвячено чимало досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних авторів. Значний вклад в теорію та практику застосування ІТ внесли В. Биков, А. Верлань, Б. Гершунський, Р. Гуревич, М. Жалдак, Ю. Жук, В. Клочко, М. Лапчик, А. Манако, Ю. Машбиць, Н. Морзе, С. Раков, Ю. Рамський, І. Роберт, О. Співаковський, П. Стефаненко, С. Семєріков, Ю. Триус та ін. Ними сформульовано теоретичні основи застосування ІТ у навчальному процесі, розглянуто шляхи підвищення ефективності навчання з використанням новітніх методик і технічних засобів.

У підготовці майбутніх фахівців хімічних спеціальностей широко застосовують електронні ресурси (ЕР) [2]. Під ними розуміють ресурси, які керуються за допомогою комп'ютера, у тому числі ті, що потребують використання периферійного пристрою. Термін "електронні ресурси" вміщує такі аспекти поняття, як цифрова форма фіксації даних, комп'ютерні засоби та програмне забезпечення для їх відтворення та керування, електронне середовище для розповсюдження тощо. Для представлення хімічного матеріалу у вигляді зображення найчастіше застосовують візуалізації, які в ЕР можуть бути статичними та динамічними, відображати об'єкти та явища наближено до їх реального вигляду або абстрактно, надавати можливості для імітації дій та моделювання тощо.

Незважаючи на великий освітній потенціал ЕР, при їх застосуванні не завжди досягається підвищення продуктивності та поліпшення якості навчання. Часто причиною цього є значне підвищення когнітивного навантаження студентів при неоптимальному поєднанні навчального матеріалу, представленого в різному форматі [4; 5]. Прогнозування напряму зміни навантаження та розробка прийомів запобігання його зайвому підвищенню під час навчання із застосуванням ЕР є важливою й актуальною педагогічною проблемою.

Для вимірювання когнітивного навантаження використовуються методи суб'єктивної та об'єктивної оцінки (їх називають непрямими та прямими) [1]. Суб'єктивні методи визначення когнітивного наван-

таження засновані на використанні оціночних шкал і опитувальників та мають низку недоліків. Прямі методи дозволяють контролювати зміну швидкості реакції респондентів або порівнювати значення їх фізіологічних характеристик до початку і під час навчальної роботи. Їх можна назвати точнішими, однак вимірювання параметрів (варіативності частоти серцевих скорочень, дихання, зорового сканування тощо), які змінюються відповідно до розумового зусилля в когнітивному процесі, складно здійснювати в умовах навчального закладу.

Для аналізу діяльності тих, хто навчається, дослідники прагнуть використовувати комплекси методів у найрізноманітніших поєднаннях, при цьому виникає проблема зіставлення отриманих результатів. На даний час можна констатувати, що в арсеналі дослідників взаємодії “людина – комп’ютер” немає універсальних, автоматизованих методів оцінки когнітивного навантаження [7].

В освіті найбільш оптимальним можна вважати метод вторинного завдання. У поєднанні з контролем успішності та якості засвоєних знань він дозволяє отримати об’єктивну кількісну оцінку навантаження, що виникає, і дослідити його динаміку з достатньою точністю. Проведення досліджень за його допомогою вимагає автоматизації вимірювань та обробки результатів. Тому метою даної роботи стала розробка програмного забезпечення для вимірювання когнітивного навантаження студентів під час навчання хімії із застосуванням ЕР та його практична апробація.

На базі хімічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара (далі ДНУ) був проведений експеримент, метою якого стало дослідження факторів, які впливають на когнітивне навантаження студентів під час навчання із застосуванням ЕР.

Дослідження проводили за методом вторинного завдання. Суть методу полягає у виконанні людиною одночасно двох завдань, одне з яких є навчальним (його називають основним), а друге дозволяє визначити зміни, наприклад, швидкості реакції особистості на сигнал (візуальний, аудіальний). При проведенні експерименту з комп’ютерною підтримкою для фіксування реакції респондентів застосовують кнопку (об’єкт, тригер), виділену в певному місці екрану, або клавішу (Enter, Space), на яку треба натиснути при зміні кольору іншого об’єкта, або при появі/зникненні звуку тощо.

Гіпотезою дослідження було припущення про те, що неоптимальне поєднання мультимедійних матеріалів підвищує когнітивне навантаження студентів при виконанні основного завдання, що, у свою чергу, спричиняє збільшення часу на здійснення вторинного завдання. Фіксування цього дозволяє отримати кількісні достатньо об’єктивні характеристики для

оптимізації: розташування елементів на екрані; співвідношення статичних і динамічних елементів навчального матеріалу; порядок дій, що плануються під час маніпулювання студентами об'єктами на екрані тощо.

У проведеному експерименті взяли участь 49 студентів 3 курсу, які вивчали декілька тем органічної хімії за допомогою спеціальної комп'ютерної програми (це було основним завданням). Вторинне завдання полягало в необхідності натискати кнопку, розташовану на екрані, при зміні її кольору. Час між зміною кольору кнопки і натисканням на неї фіксувався, а зібрані результати окремих респондентів у подальшому аналізувалися за допомогою статистичних методів із використанням пакету прикладних програм SPSS.

Для виконання основного завдання студентам пропонували роботу з інтерактивним електронним підручником "Органічна хімія" [3]. Підручник містить велику кількість мультимедійного матеріалу (зображення у різному форматі, аудіокоментар, відео, анімації, інтерактивні ігри тощо), що дозволило провести декілька серій дослідів. Студенти працювали з електронними хімічними матеріалами, представленими в різних форматах. Вторинне завдання дозволяло фіксувати зміну швидкості реакції студентів на візуальний сигнал.

Для вимірювання сумарного когнітивного навантаження студентів за допомогою методу вторинного завдання використовували спеціальну програму, розроблену в середовищі Delphi 7.0 (автори О. Наumenко, Т. Деркач). Програма має простий, зрозумілий інтерфейс. Основні елементи керування нею можна побачити на рис. 1.



**Рис. 1. Скріншот робочого вікна програми для дослідження когнітивного навантаження методом вторинного завдання (під час перегляду відео дослідів з аудіальним супроводом)**

В якості візуального сигналу застосовували зміну кольору (зеленого на червоний) кнопки у вигляді чотирикутника, розташованої у правому верхньому куті екрану [6].

Основну частину робочого вікна програми (рис. 1) займає рамка/вікно, де розміщується навчальний матеріал. У правому верхньому куті знаходиться сигнальна кнопка (чотирикутник), під якою розташований бігунець, що дозволяє змінювати час, відведений на показ кнопки одного кольору до його наступної зміни. Під бігунцем розміщено кнопку “Розпочати роботу”, при натисканні якої починається фіксування результатів вимірювань інтервалів часу між зміною кольору і натисканням кнопки студентом (у мс). У правому нижньому куті розташовані кнопки керування “Переглянути результати” та “Вихід”.

Програма дозволяє за необхідності зупинити та знову розпочинати роботу, при цьому результати, що були зафіксовані до натискання паузи, зберігаються. Після закінчення роботи та команди “переглянути результати” відкривається файл Excel, де записані виміряні інтервали. У програмі передбачена можливість статистичної обробки, зберігання та систематизації отриманих результатів вимірювань.

На даному етапі проведення експерименту навчальний матеріал у програмі може бути представлений у вигляді: зображення будь-якого формату; скріншоту вікна програми; відео або анімації; html-сторінки. При подальшому розробленні програмного продукту планується додати можливість розглядання інших ресурсів (наприклад, слайдів презентацій, робочих вікон навчальних програм будь-якого типу, тренажерів тощо).

У процесі експерименту досліджували зміну когнітивного навантаження студентів під впливом:

1. Зміни форми представлення матеріалу. Респондентам було запропоновано вивчити хімічний матеріал приблизно однакового рівня складності за трьома альтернативними схемами подання даних (читання тексту з екрану, читання тексту з екрану з одночасним переглядом анімації, перегляд відео демонстрації з аудіальним супроводом).

2. Зміни рівня складності завдання. Для цього в експериментах із читанням респонденти працювали з текстами різної складності.

3. Ефектів, що відволікають увагу при виконанні завдання. Респонденти переглядали відео з наявними або відсутніми яскравими фрагментами (вибух, спалах вогню).

Студентам було запропоновано виконання завдань відповідного рівня складності з різною частотою зміни кольору кнопки, а саме раз на 5 або 10 с. Аналіз отриманих результатів показав, що суттєвої різниці між результатами

для різних частот не спостерігається. Тому для кожного респондента і для кожного експерименту були розраховані та взяті до уваги середні показники, що досягнуті при виконанні завдань при обох частотах зміни кольору кнопки. Якщо наявним був результат лише для однієї частоти, враховувався саме він.

Для вирішення трьох зазначених вище завдань фактично було проведено 5 експериментів, які повторювалися декілька разів. Для подальшого аналізу розраховувалися середні результати для кожного респондента, показані у певному експерименті.

Попередній експеримент був спрямований на визначення індивідуальної швидкості реакції окремих респондентів в умовах відсутності навчального завдання. Отриманий у ході цього досліджу середній час реакції позначимо  $t_0$ .

Дослідження впливу когнітивного навантаження було розпочато в експериментах із роботою з текстами різних рівнів складності (спочатку більш легкі, а потім більш складні). Ці досліди можна розглядати як перший і другий експерименти, а отримані показники позначити  $t_1$  та  $t_2$  відповідно.

Третій дослід (із показниками  $t_3$ ) спрямований на дослідження навантаження при роботі з текстом і паралельною анімацією.

Четвертий ( $t_4$ ) та п'ятий ( $t_5$ ) досліди були спрямовані на дослідження впливу одночасного застосування відео й аудіо. В останньому випадку відеодемонстрація містила яскраві ефекти (вибух або спалах вогню).

Для визначення типу статистики, що потрібно застосовувати, отримані результати перевірено на нормальність розподілу за допомогою тесту Колмогорова–Смирнова. Як свідчать результати (табл. 1), отримані дані відповідають критерію нормального розподілу, тому для їх аналізу доцільно застосовувати стандартні Т-критерії. Щоби максимально врахувати вплив на результати індивідуальних особливостей окремих респондентів (таких, наприклад, як індивідуальна швидкість реакції), статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою Т-критерію для парних вибірок. Цей критерій використовується для залежних вибірок. У процедурі його застосування (на відміну від Т-критерію для незалежних вибірок) обчислюються різниці між значеннями двох змінних (між результатами двох експериментів, що порівнюються) для кожного респондента. А потім перевіряється, чи відрізняється середнє цих різниць від нуля.

Ще одним засобом для максимально повного врахування індивідуальності окремих респондентів є використання відносних, а не абсолютних величин. Як свідчать результати попереднього експерименту, показники респондентів варіювалися в досить широких межах. Основною причиною цього є, очевидно, індивідуальні психологічні або фізіологічні (наприклад, пов'язані з вадами зору) особливості окремих людей.

Таблиця 1

**Описова статистика та результати перевірки отриманих даних за тестом Колмогорова–Смирнова, що засвідчують наявність нормального розподілу результатів дослідів 0–5**

| Досліди                          | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5      |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Кількість респондентів           | 34    | 28    | 30    | 34    | 33    | 24     |
| Середнє значення $t_n$ , мс      | 530,4 | 777,2 | 904,1 | 835,8 | 658,9 | 1511,3 |
| Колмогоров–Смирнов Z             | 2,078 | 1,768 | 1,020 | 1,432 | 1,170 | 1,643  |
| Асимптотична значущість, $p$     | 0,000 | 0,004 | 0,025 | 0,033 | 0,019 | 0,009  |
| $R_n = t_n/t_0$                  |       | 1,410 | 1,810 | 1,700 | 1,380 | 3,120  |
| Стандартне відхилення $\sigma_R$ |       | 0,083 | 0,166 | 0,138 | 0,089 | 0,830  |

**Примітка:** Розподіл підкоряється нормальному закону, якщо показник  $p < 0,05$

Для мінімізації впливу цих факторів у подальшому аналізі застосовані не абсолютні показники швидкості реагування  $t_n$  в секундах, а відносні. Для кожного респондента розраховані відношення, де в чисельнику використано показники, отримані в ході кожного експерименту з навантаженням, а в знаменнику в усіх випадках – показник попереднього експерименту  $t_0$ . Таке відношення  $R_n$  показує у скільки разів швидкість реакції студента змінилася при виконанні основного завдання в експерименті  $n$  у порівнянні з показником його реакції без навчального навантаження, і розраховується за формулою:

$$R_n = \frac{t_n}{t_0} \quad (1)$$

де  $t_n$  та  $t_0$  – середні часи реакції в експерименті  $n$  та холостому досліді.

Описову статистику щодо відносних показників  $R_n$  дослідів 1–5 наведено в табл. 1. Середні показники відносної швидкості реакції помітно відрізняються між собою. Щоб оцінити статистичну значущість різниці між показниками окремих експериментів, застосовано Т-критерій для парних вибірок.

Результати порівняння показників швидкості реакції при застосуванні Т-критерію для дослідів 1, 3, 4 міститься в рядках 2, 3, 8 табл. 2. Як бачимо, у двох випадках із трьох, що порівнюються, різниця між середніми показниками  $R_n$  відповідає критерію  $p < 0,05$ . Тобто навантаження при одночасному застосуванні тексту з анімацією є вищим, ніж у випадках чи-

тання тексту або перегляду відео з аудіальним супроводом. Винайдені різниці в показниках є статистично значущими. У той же час невелика різниця між показниками  $R_1$  та  $R_4$  не виходить за межі статистичної похибки. Тобто суттєвої різниці між рівнем навантаження при використанні тексту в порівнянні з переглядом відео з аудіальним супроводом не існує.

Таблиця 2

**Результати порівняння середніх із застосуванням Т-критерію парних вибірок**

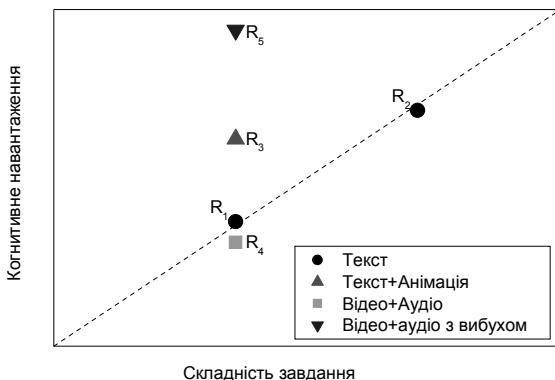
| №  | Порівняння дослідів | Середня різниця | Станд. відхилення | Станд. похибка | t      | df | Знач. (2-стороння) p |
|----|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|--------|----|----------------------|
| 1  | $R_1-R_2$           | -0,452          | 0,803             | 0,164          | -2,753 | 23 | 0,011                |
| 2  | $R_1-R_3$           | -0,297          | 0,893             | 0,169          | -1,765 | 27 | 0,049                |
| 3  | $R_1-R_4$           | 0,005           | 0,522             | 0,101          | 0,047  | 26 | 0,963                |
| 4  | $R_1-R_5$           | -0,858          | 2,583             | 0,609          | -1,410 | 17 | 0,177                |
| 5  | $R_2-R_3$           | 0,0810          | 0,869             | 0,159          | 0,511  | 29 | 0,613                |
| 6  | $R_2-R_4$           | 0,316           | 0,783             | 0,145          | 2,174  | 28 | 0,038                |
| 7  | $R_2-R_5$           | -1,350          | 4,372             | 0,932          | -1,449 | 21 | 0,162                |
| 8  | $R_3-R_4$           | 0,323           | 0,680             | 0,118          | 2,731  | 32 | 0,010                |
| 9  | $R_3-R_5$           | -1,375          | 3,935             | 0,803          | -1,712 | 23 | 0,100                |
| 10 | $R_4-R_5$           | -1,836          | 3,740             | 0,780          | -2,354 | 22 | 0,028                |

**Примітка:** Різниця між показниками  $R_n$  є значущою, якщо  $p < 0,05$

Іншим завданням, вирішуваним у ході експериментів, було порівняння навантаження, що виникає при застосуванні тексту різної складності (експерименти 1 та 2). Результати порівняння (рядок 1 табл. 2) свідчать про наявність незаперечної позитивної кореляції між рівнем складності тесту та рівнем когнітивного навантаження.

Останнім завданням було дослідити вплив яскравих фрагментів, що відволікають увагу при перегляді відео. Результати порівняння дослідів 4 та 5 у рядку 10 табл. 2 свідчать про наявність суттєвого зростання навантаження при появі таких фрагментів. Загалом, час реакції у досліді 5 виявився найвищим порівняно з усіма дослідями, хоча значуща різниця спостерігалася далеко не у всіх випадках. Викладачам слід це враховувати та передбачати для таких переглядів інтерактивну роботу покроково для зменшення навантаження.

Для ілюстрації віднайдених закономірностей на рис. 2 схематично представлено середні показники  $R_n$  усіх п'яти експериментів у координатах "складність завдання – когнітивне навантаження".



**Рис. 2. Схема, що ілюструє наявні кореляції між рівнем складності завдання та рівнем когнітивного навантаження при застосуванні різних форматів представлення інформації**

Для встановлення ефективності застосування й остаточних висновків про оптимальні варіанти комбінування ЕР під час навчання необхідно дослідити для цих варіантів якість засвоєння знань студентами.

Таким чином, показана можливість здійснення контролю навантаження тих, хто вивчає хімію із застосуванням електронних ресурсів. Нами розроблено й апробовано методику і спеціальне програмне забезпечення для вимірювання сумарного когнітивного навантаження студентів за методом вторинного завдання: встановлені фактори, які треба враховувати під час компонування матеріалів до заняття. Перспективним напрямом подальших досліджень стане вивчення зміни когнітивного навантаження для застосування інших комбінацій і типів ресурсів, наприклад: навчання із застосуванням динамічних візуалізацій із наявними або відсутніми імітаціями людського руху; реалістичних або абстрактних зображень тощо.

1. *Деркач Т. М.* Вимірювання когнітивного навантаження для дослідження ефективності засобів інформаційних технологій / *Т. М. Деркач* // Інформаційні технології і засоби навчання. — 2011. — Т. 22. — № 2. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/issue/view/41>. — Заг. з екрана. — Мова укр.
2. *Деркач Т. М.* Інформаційні технології у викладанні хімічних дисциплін // *Т. М. Деркач*. — Дн. : Вид-во ДНУ, 2008. — 336 с.
3. *Дерябина Г. И.* Органическая химия : Интерактивный мультимедиа учебник / *Г. И. Дерябина, К. В. Кантария*. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.chemistry.ssu.samara.ru/>. — Заг. з екрана. — Мова рос.
4. *Ayres P.* Interdisciplinary Perspectives Inspiring a New Generation of Cognitive Load Research / *P. Ayres, P. Fred* // *Educ. Psychol. Rev.* — 2009. — Vol. 21. — P. 1—9.



5. *Scheiter K.* Cognitive and socio-motivational aspects in learning with animations: there is more to it than 'do they aid learning or not' / *K. Scheiter, P. Gerjets // Instr. Sci.* — 2010. — Vol. 38. — P. 435—440.
6. *Smith M. E.* Factors in the measurement of cognitive load of multimedia learning : Submitted in partial fulfillment of the requirements of the degree Ms. Educ. in Computer-Integrated Education / *M. E. Smith.* — University of Pretoria, South Africa, 2007. — 108 p.
7. *Roberts W. E.* The Use of Cues in Multimedia Instructions in Technology as a Way to Reduce Cognitive Load : A dissertation submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Education / *W. E. Roberts.* — Raleigh : NC. — 2009. — 124 p.

Стаття надійшла до редакції 21.05.2012

***Т. Деркач***

### **Определение когнитивной нагрузки студентов при обучении с использованием электронных ресурсов**

Статья посвящена проблеме прогнозирования и предотвращения излишнего повышения когнитивной нагрузки при обучении студентов химии с применением электронных ресурсов. Разработано и апробировано специальное программное обеспечение для определения суммарной когнитивной нагрузки методом вторичной задачи. Установлены факторы, которые следует учитывать при компоновке учебных материалов, представленных в различной форме.

**Ключевые слова:** подготовка студентов химических специальностей, информационно-коммуникационные технологии, электронные ресурсы, когнитивная нагрузка.

***Т. Derkach***

### **Determination of Cognitive Load of Students in the Course of Teaching with the Use of Electronic Resources**

The article considers the problem of prediction and prevention of excessive increase of cognitive load of students in the course of chemistry teaching with the use of electronic resources. It develops and testes special software to determine the total cognitive load by means of the method of derivative task. The author identifies factors to be taken into account arranging teaching materials presented in different forms.

**Key words:** training of students of chemical specialties, information and communication technologies, electronic resources, cognitive load.

Рецензент – кандидат педагогічних наук,  
старший науковий співробітник І. Е. Артеменко