

М. А. Попова

КОГНІТИВНА ЕРГОНОМІКА ОНТОЛОГІЇ НАВЧАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. У статті наведений короткий аналіз досліджень, присвячених використанню онтологій для розроблення навчальних програм, створення описів їх змісту у вигляді курсів та інформаційних ресурсів, вдосконалення механізмів рекомендацій академічних джерел та ресурсів, академічного оцінювання, менеджменту закладу вищої освіти, інтеграції академічних даних та сховищ на основі онтологій, який засвідчив, що онтології є корисним засобом організації інформації в освітньому процесі. Розглядаються критерії, методи і способи метричної оцінки онтологій щодо відповідності вимогам застосування, збільшення доступності інформації для засвоєння та отримання можливості повторного їх використання з метою зниження часових та фінансових витрат на модернізацію наявних і розроблення нових моделей баз знань. Наведений короткий опис метрик когнітивної ергономіки, які впливають на сприйняття і здатність до запам'ятовування інформації, представлені в онтологіях. Визначена залежність ефективності онтології від її метрик, на основі якої представлений перелік когнітивно-перцептивних принципів, що необхідно враховувати, розробляючи онтології навчального призначення. Розглянуті основи теорії когнітивного навантаження та її застосування у процесі розроблення навчальних ресурсів на основі онтологій. Наведено опис типів когнітивного навантаження, які може спричинити навчальна онтологія, з метою визначення способів її оптимізації. Надані практичні поради розробникам навчальної онтології задля найбільш ефективного представлення інформації для її засвоєння. Наведений перелік засобів побудови онтологій, у тому числі навчального призначення. Описані основні способи представлення знань засобами когнітивної ІТ-платформи «Поліедр», що враховує особливості когнітивної ергономіки в процесі розроблення онтології навчального призначення.

Ключові слова: онтологія, когнітивне навантаження, метрика онтології, когнітивна ергономіка, навчальні ресурси.

Постановка проблеми. На сьогодні комп'ютерні онтології набули неабиякої популярності в різних галузях освіти. Це пояснюється універсальністю і гнучкістю їх функціоналу, що здатний забезпечити мережеві пошук та доступ до навчального матеріалу [1], автоматизацію процесів для підвищення ефективності навчальної діяльності [2], обмін інформацією між різними структурними підрозділами або навчальними закладами [3] й організацію процесу навчання [4].

Нині способи отримання, сприйняття і передачі знань постійно змінюються завдяки експонен-

ціальному зростанню інформаційних та комунікаційних технологій. Отже, важливість використання онтологій як технологічного інструменту, що дає змогу адекватно обмінюватися інформацією між людьми і гетерогенними системами, є очевидною, адже вони здатні полегшити доступ до знань завдяки інтегративності в контексті глобалізації освіти.

Застосування комп'ютерних онтологій в галузі освіти

У 2018 р. було проведено аналіз 2792 робіт із провідних цифрових баз даних (ACM Digital Library, IEEE Xplore, Scopus, Web of Science), пов'язаних з використанням онтологій в освітньому

контексті [5]. На основі релевантності ключових слів, анотацій та заголовків, заданим критеріям пошуку було отримано 352 статті, що описують первинні дослідження. Засобами Data Mining та аналізу даних були відібрані 52 ключових дослідження, що здатні відобразити в повному обсязі сучасний стан використання онтологій в освітньому процесі.

Близько 12% досліджень присвячено використанню онтологій для розроблення навчальних програм, створення описів їх змісту у вигляді курсів та інформаційних ресурсів, управління результатами навчання і моделювання управління навчальними програмами. Наприклад, онтології використовуються для розроблення репетитора для академічного дизайну, функціонування якого спрямоване на забезпечення точного подання навчальних програм, які можуть бути інтерпретовані викладачами, студентами та комп'ютерами. Також онтології застосовуються для побудови логічної моделі змісту і знань навчальної програми, яку можна повторно використовувати для формування навчальних сценаріїв.

Останнім часом усе більшого поширення набуло застосування онтологій у процесі дистанційного навчання. Це пояснюється тим, що завдяки використанню семантичних мереж та онтологій знання представляються таким способом, який неможливо було досягти за допомогою таких технологій, як HTML, що дає змогу створювати персоналізовані системи дистанційного навчання, матеріали та ресурси яких адаптовані для потреб географічно віддалених студентів.

Близько 13% робіт присвячені застосуванню онтологій для вдосконалення механізмів рекомендацій академічних джерел та ресурсів. Наприклад, онтології використовуються для подолання неоднорідності у великих обсягах даних в Інтернеті, допомагаючи студентам та викладачам у пошуку найбільш релевантної інформації на основі семантичних вебтехнологій і/або детального опису (метаданих) інтересів, що відповідають їх уподобанням та дисциплінам.

12% дослідників акцентують увагу на застосуванні онтологій для академічного оцінювання, здійснення якого вимагає інтеграції відповідних даних, зазвичай розподілених в окремих системах. Отже, онтології застосовуються для представлення єдиного словника й уникнення проблем інтероперабельності систем.

Доведено, що використання онтологічної відповідності є ефективним методом перевірки рівня засвоєння знань під час академічного оцінювання з організаційною метою.

Близько 17% робіт стосуються менеджменту закладу вищої освіти. Ідея полягає у поданні знань щодо найважливіших аспектів вищої освіти у вигляді інформаційної системи, заснованої на онтологіях, яка поєднує інституціональні компоненти і відділи, інформацію про структуру та компоненти курсів, навчальні матеріали.

Деякі дослідники (8%) описують застосування онтологій у програмному забезпеченні для покращення пошуку інформації, наприклад в онтологічній пошуковій системі для аспірантів, яка дає змогу отримати точну інформацію для дослідницької роботи, і в системі академічного пошуку, яка допомагає студентам знайти відповідний навчальний матеріал.

Решта розглянутих досліджень (12%) стосуються інтеграції академічних даних і сховищ на основі онтологій, орієнтованих не на традиційну реляційну базу даних, а на концепти.

Отже, онтології є корисним засобом організації інформації, що забезпечує машинне оброблення даних та пошук відповідних ресурсів, і може бути використаний суб'єктами освітнього процесу. Проте через брак інформації щодо практичного застосування онтологій у навчальних середовищах для представлення знань, дослідникам, зацікавленим у цьому питанні, важко отримати корисні відомості, які резюмують переваги застосування онтологій як інструменту візуалізації інформації.

Однією з основних проблем сучасної освіти є відсутність в учнівської молоді бажання штудіювати підручники. Можливо, причинами ситуації, що склалася, є не тільки лінощі сучасного покоління, а й, найчастіше, виправдана відсталість і сухість наявних навчальних посібників. Наприклад, принциповою відмінністю біології XXI ст. є те, що практично будь-яке сучасне дослідження спричиняє появу численних даних, які не встигають бути осмислені та представлені в друкованих посібниках. Учням і студентам доводиться не тільки самостійно засвоювати й усвідомлювати інформацію, а й, що принципово важливо, визначати взаємозв'язки між відомими їм даними. Проблема визначення взаємозв'язків між певними термінами або концептами є однією з основних проблем у сучасній науці й освіті.

Онтології здатні розв'язати цю проблему і вже зарекомендували себе як засіб для інтеграції даних і знань. Саме онтології є одним із сучасних методів, що дають змогу отримати швидке уявлення про вміст інформаційного ресурсу. Онтологічний підхід широко застосовується в різних наукових дисциплінах. Онтології, будучи авторським набором концептів і взаємозв'язків, можуть бути створені буквально для будь-якого інформаційного ресурсу: від книги до бази даних, і будь-якою людиною.

Онтології, створені, наприклад, студентами, можуть сприяти не тільки перевірці їхніх знань, а й реалізації здібностей, оскільки різні експерти-користувачі залежно від проблеми, що їх цікавить, можуть створювати різні онтології для одного і того самого масиву інформації. Отже, онтологічний підхід може сприяти вирішенню одного із завдань сучасної освіти, а саме — підготовки фахівців, здатних грамотно використовувати й аналізувати інформацію, поєднувати окремі елементи в цілісну картину явища. Для цього необхідно розробляти навчальні онтології, враховуючи особливості когнітивних процесів учнівської молоді.

Метою статті є огляд принципів оцінки когнітивної ергономіки онтологій і залежність їх ефективності від метрик під час розроблення навчальних онтологій, а також ознайомлення читачів із програмним рішенням КІТ «Поліедр», функціонал якого забезпечує ергономічність сприйняття інформації з урахуванням положень теорії когнітивного навантаження.

Оцінка когнітивної ергономіки онтологій навчального призначення

Традиційно, розробляючи онтологію, застосовують низхідний підхід (згори-вниз), при якому онтологічні інженери і фахівці з предметної галузі визначають онтологічні елементи й аксіоми за допомогою ітеративних дискусій. Прогалини, надмірність, помилки і невідповідності неминучі. Отже, метрична оцінка онтології є невід'ємною частиною розроблення та розвитку онтології, оскільки може відображати, чи результат відповідає вимогам застосування, збільшує доступність і надає можливості повторного використання онтологій, знижує витрати на обслуговування спільно створених баз знань. Однак номенклатура оцінки онтології досі спричиняє плутанину серед дослідників.

Існує два типи оцінки онтологій:

- кількісний — за статистичними показниками (Statistical metrics):
 - кількість класів (number of classes);
 - кількість властивостей (number of properties);
 - кількість сутностей (number of individuals);
 - максимальна глибина (maximum depth) дерева ієрархії;
 - середня кількість сусідніх вершин (average number of siblings): середня кількість вершин на одному рівні в дереві;
 - максимальна кількість сусідніх вершин (maximum number of siblings): максимальна кількість вершин в онтології;
- якісний — за показниками контролю якості і забезпечення якості (Quality-control and quality-assurance metrics).

Крім того, інші дослідники розширили і створили власну категорійну схему оцінки онтологій, що включає підходи (золотий стандарт, застосованість, керування даними, залежно від типу користувачів) і рівні (лексичний, ієрархічний/таксономічний, семантичний, контекстний, синтаксичний, структурний (архітектура, дизайн)) [6].

Серед кількісних методів оцінки онтологій превалює підхід на основі аналізу метрик, що розраховуються на основі топології графа — структури онтології.

Найбільш поширеними є метрики *когнітивної ергономіки* [7]:

1. Глибина онтології:

- абсолютна — обчислюється як сума довжин всіх шляхів графа (шлях — будь-яка послідовність з'єднаних між собою вершин, що починається від кореневої вершини і закінчується термінальною вершиною графа);
- середня — дорівнює абсолютній глибині, поділеній на кількість шляхів у графі;
- максимальна — дорівнює максимальній довжині шляху.

Чим більшою є глибина, тим важче сприймається граф.

2. Ширина онтології:

- абсолютна — дорівнює сумі кількості вершин для кожного рівня ієрархії по всіх рівнях;
- середня — обчислюється як абсолютна ширина, поділена на кількість рівнів ієрархії;
- максимальна — дорівнює кількості вершин на найбільшому за кількістю вершин рівні.

Чим меншою є ширина, тим краще з точки зору когнітивної ергономіки.

3. *Заплутаність онтології* (tangledness), що визначається як кількість вершин графа онтології, поділена на кількість вершин, в яких є кілька безпосередніх суперкласів. Отже, в онтологіях, де немає множинного спадкоємства, ця метрика буде дорівнювати нулю. Чим меншим є результат обчислення, тим кращою є онтологія з точки зору когнітивної ергономіки.

4. *Відношення кількості класів до кількості властивостей*. Чим більше, тим легше сприймається онтологія.

Незважаючи на корисність цих метрик, вони описують лише невелику частину факторів, які впливають на сприйняття і здатність до запам'ятовування.

Як правило, оцінка онтології — це процес, який визначає якість (і/або правильність) онтології стосовно набору оціночних критеріїв, залежно від того, який тип онтологій оцінюється і з якою метою. Відома класифікація оцінки онтології була запропонована групою дослідників з Інституту Йозефа Стефана (Словенія) [6], що групує наявні підходи до оцінювання в чотири широкі категорії:

- підходи, що порівнюють цільову онтологію із «золотим стандартом»;
- підходи, які використовують цільову онтологію у програмній реалізації (практичному використанні) й оцінюють результати застосування;
- підходи, що проводять аналіз повноти представлення, порівнюючи цільову онтологію із джерелом даних (наприклад, збірник документів) про певну предметну галузь;
- оцінка людиною-експертом, що визначає, наскільки добре цільова онтологія відповідає набору заздалегідь визначених критеріїв, стандартів та вимог.

Варто наголосити, що онтологія є складною структурою, тому загальний підхід до її оцінки полягає в аналізі різних рівнів/аспектів онтології окремо, а не в спробах оцінити якість онтології загалом.

Оцінка онтології — «завдання вимірювання якості онтології» з метою визначення її придатності для обміну даними, оцінки її розвитку та підтримки узгодженості за сімома визначеними критеріями [8]. Під завданням маються на увазі завдання на перевірку (верифікацію)

та підтвердження (валідацію) онтології. Верифікація «стосується побудови онтології правильно, тобто забезпечення того, щоб її визначення правильно реалізовували вимоги». Валідація «посилається на те, чи зміст визначень дійсно моделює реальний світ, для якого створена онтологія». По суті, верифікація вивчає внутрішні аспекти онтології, тоді як валідація вивчає зовнішні.

До критеріїв оцінки онтології відносять:

- точність — чи декларовані в онтології знання узгоджуються зі знаннями експерта;
- повноту — чи належно (в повному обсязі) представлена предметна галузь;
- лаконічність — чи визначає онтологія невідповідні елементи предметної галузі або надлишкове подання семантики;
- послідовність — чи включає або допускає онтологія суперечності, які часто вимірюють як кількість термінів з невідповідним значенням;
- ефективність обчислень — наскільки швидко обчислювальні інструменти можуть працювати з онтологією;
- адаптивність (вона часто вимірюється сполученням (кількістю посилань на зовнішні класи) і згуртованістю (модульністю онтології)) — наскільки легко чи важко використовувати онтологію в різних контекстах;
- чіткість — наскільки ефективно онтологія може передавати зміст визначених термінів.

Також у літературі трапляється такий термін оцінки онтологій, як «забезпечення якості» (quality-assurance — QA). Оцінку онтології із забезпечення її якості третьою стороною (не розробниками і споживачами) часто називають «аудитом» [9]. Незважаючи на відмінності в номенклатурі, забезпечення якості й аудит онтологій перебуває в межах онтологічного оцінювання. Проте в літературі оцінка онтології і забезпечення якості онтології мають деякі помітні відмінності у своїй спрямованості: онтологічне оцінювання часто зосереджується на вимірюваннях оцінки «правильності» онтологій (включаючи питання щодо компетентності розробників), тоді як забезпечення якості орієнтоване на виявлення помилок і невідповідностей моделювання та поліпшення якості онтологій.

Критерії аудиту онтології і забезпечення якості:

- концепція орієнтації (чіткість) — стосується невізначених і/або неоднозначно визначених понять;

- послідовність (узгодженість) — лексичні аспекти і класифікація понять;
- ненадмірність (стислість) — стосується надмірності класів і понять;
- звучність (точність) — надійності класифікацій та описів понять;
- комплексне висвітлення (повнота) — повнота висвітлення понять і пов'язаних із ними термінів, прогалини в ієрархічних і семантичних відносинах та повнота визначень понять.

Залежність ефективності онтології від її метрик

В основі принципів оцінки сприйняття і зрозумілості онтологій лежать погляди Макса Вертгеймера в царині гештальт-психології. Він розглядав усі завдання з точки зору незавершеності або недосконалості структури. Основний принцип хорошого гештальта (гарної форми) або закон прегнантності був сформульований так: «Організація будь-якої структури в природі або у свідомості має бути настільки хорошою (регулярною, повною, збалансованою або симетричною), наскільки дозволяють наявні умови».

Під час розроблення онтології, зокрема навчального призначення, необхідно зважати на когнітивно-перцептивні принципи:

- закон близькості — візуальні стимули (об'єкти), що розташовані близько один від одного, сприймаються як єдине ціле;
- закон подібності — речі, що мають однакові властивості, зазвичай сприймаються як щось єдине (ціле);
- закон включення В. Келера — сприймається картина загалом, а не фрагмент, який вона включає;
- закон парсімонії — найпростіший приклад є найкращим (принцип «бритви Оккама»: «не потрібно множити сутності без потреби»).

Для цілей онтологічного інжинірингу ці закони можна переформулювати і зробити застосовними для практичного інженера по знаннях [10]. Основна гіпотеза може бути сформульована як: «Гармонія = концептуальний баланс + ясність».

Під концептуальним балансом розуміється, що: — поняття одного рівня ієрархії зв'язуються з батьківським концептом одним і тим самим типом відносин (наприклад, «клас — підклас» або «частина — ціле»);

- глибина гілок онтологічного дерева має бути приблизно однакова;
- загальна картина має бути доволі симетричною;
- наявність циклів заважає сприйняттю.

Ясність же включає поняття: мінімізації — максимальна кількість концептів одного рівня або глибина гілки не має перевищувати число Інгве-Міллера (7 ± 2) [11] (отже, з точки зору когнітивної ергономіки, оптимальною кількістю вхідних і вихідних ребер для вершини (ступінь вершини) є 9, відношення кількості вершин з нормальним ступенем до кількості всіх вершин має наближатися до 1); прозорості для читання — тип відношень має бути за можливості очевидним, щоб не перевантажувати схему онтології зайвою інформацією, а назви відношень — не відображатися.

Логічною є думка, що оцінити онтологію з точки зору ефективності її сприйняття зможе лише «сприймач», тобто людина-експерт, що визначає, наскільки добре цільова онтологія відповідає набору заздалегідь визначених критеріїв, стандартів та вимог за власними суб'єктивними метриками.

Результат засвідчив, що однією з рушійних сил оцінки онтології є запевнення дослідників, розробників та інших користувачів, що онтологія має «хорошу» якість.

Отже, оцінка когнітивної ергономіки онтологій важлива у випадках, коли онтологія призначена для навчання та передачі знань. За останні роки розроблено низку методів (Natural Language Application metrics, Onto-Metric, FIGO, EvaLexon, Declarative Methods, OntoClean) та програмних продуктів (ODEval, OntoManager, Cognitive Ontology Assessment, OntoAnalyser, OntoGenerator, ONE-T, S-OntoEval) для автоматичного розрахунку метрик і оцінки онтологій, що істотно зменшує навантаження на експерта, який приймає рішення щодо якості онтології та її відповідності поставленим цілям і завданням. Однак жодна з наявних на сьогодні моделей оцінки онтологій не дає повною мірою провести їх аналіз з точки зору якості і швидкості сприйняття людиною, адже «не існує єдиного “правильного” концептуального представлення області дослідження — завжди існують життєздатні альтернативи» [12].

**Теорія когнітивного
навантаження і розроблення
навчальних онтологій**

Розробляючи навчальну онтологію, важливо переконатися, що інформація зрозуміла учням/студентам і залишиться в пам'яті, перетворюючись на знання, які можна буде використовувати в майбутньому. Розробник навчальної онтології має бути обізнаним в технологіях навчання і мати уявлення, як працювати з інформацією для найбільш ефективного її представлення для сприйняття і засвоєння. Тому просто необхідно розуміти основи теорії когнітивного навантаження і застосовувати її, розробляючи навчальні ресурси на основі онтологій, з тим, щоб учні/студенти отримали максимум користі.

Відповідно до теорії когнітивного навантаження [13] робоча пам'ять має обмежену місткість, тому розробники навчальних онтологічних ресурсів мають уникати перевантаження додатковими елементами, що не додають нічого істотного до процесу навчання. Адже чим більше інформації отримують учні/студенти за один раз, тим менша ймовірність, що вони запам'ятають її і зможуть застосувати в майбутньому.

Теорія когнітивного навантаження заснована на загальноприйнятій моделі оброблення інформації людиною, згідно з якою цей процес залучає три види пам'яті: сенсорну, робочу (короткострокову) і довгострокову. Інформація із сенсорної пам'яті потрапляє в робочу пам'ять, і вже там вона або обробляється, або остаточно відкидається. Після оброблення в робочій пам'яті мозок розподіляє інформацію за категоріями і просуває в довгострокову пам'ять, де вона зберігається в деяких структурах або конструкціях, що відповідають за процес мислення і розв'язання задач, — схемах. Схеми організують інформацію залежно від того, як вона буде використовуватися. Наприклад, поведінкові схеми дають змогу докласти менше зусиль для здійснення будь-якої дії завдяки частим повторенням, що називається автоматикою. Чим більше автоматик у людини, тим більшу кількість інформації вона може запам'ятати. Також схеми дають сприймати різні елементи як єдине ціле, що формує нашу базу знань. Відповідно до теорії схем, між учнем і вчителем є ключова відмінність: в учня ще

не сформувалася когнітивна схема, яка є у вчителя. Отже, створюючи нові схеми в процесі навчальної діяльності, можна збільшувати обсяг робочої пам'яті.

Сучасні інформаційно-комунікаційні технології покликані підвищити ефективність навчання завдяки новітнім форматам подання інформації (анімація, сторітеллінг, підказки, що спливають, тощо). Однак часто через перевантаження різноманітними прийомами і дизайнерськими рішеннями інформаційні навчальні середовища доволі захарашені. Тому для оптимізації навчальної онтології треба розуміти, який тип когнітивного навантаження вона спричинятиме.

З огляду на той факт, що робочою пам'яттю може бути оброблена обмежена кількість елементів, які взаємодіють одночасно, то довгостроковою — необмежена, тому чим більше елементів учень/студент утримує в довгостроковій пам'яті, тим легше йому буде виконати навчальне завдання, оскільки об'єм робочої пам'яті обмежений лише під час роботи з новою інформацією. Отже, завдання матиме *внутрішнє когнітивне навантаження*, що впливає на складність його виконання, експертизу, а також потужність робочої пам'яті студента.

Додаткове навантаження, яке накладається неякісно розробленим навчальним матеріалом (неергономічні шрифти й одночасне використання кількох їх видів, нечитабельні написи, малюнки, графіки та їх надмірність, монотонне викладання або використання складної лексики тощо) і/або відволікаючими факторами (соціальні мережі, фонова музика, сторонні розмови в класі/аудиторії тощо) і впливає на пізнавальну здатність людини, називається *стороннім (зовнішнім) когнітивним навантаженням*.

Германське (доцільне) когнітивне навантаження дає зосередитися на процесі навчання і спрямоване на інтеграцію нової інформації з наявними знаннями для розвитку бази знань учня/студента.

Розробляючи навчальні онтології, необхідно пам'ятати, що ці три типи когнітивного навантаження тісно пов'язані між собою: якщо приділяти багато уваги уникненню перших двох, то для третього не вистачить місця через *когнітивне перевантаження*.

Отже, розробляючи онтологію навчального призначення, потрібно дотримуватися таких правил:

- усвідомлювати, наскільки складним є сприйняття навчального матеріалу учнями/студентами для виконання завдання, щоб уникнути внутрішнього перевантаження;
- максимально оптимізувати подання інформації і зменшити відволікаючі фактори, щоб уникнути стороннього перевантаження;
- стимулювати германське навантаження.

Застосування теорії когнітивного навантаження під час розроблення навчальних онтологій

Учень/студент володіє сформованою певним чином когнітивною схемою. Для активізації процесу навчання потрібно змінити структуру цієї схеми, лише тоді учень/студент матиме змогу зрозуміти інформацію, обробити її в робочій (короткостроковій) пам'яті і, нарешті, зафіксувати в довгостроковій, завдяки чому з'явиться можливість спиратися на раніше вивчену інформацію і, отже, розширити свою базу знань.

У разі виникнення когнітивного перевантаження учні/студенти втрачуть змогу повністю зануритися в процес навчання і працювати на повну силу, внаслідок чого структура когнітивної схеми не зміниться, інформація залишиться необробленою, тож знання не будуть отримані. Тому для підвищення швидкості й ефективності засвоєння навчального матеріалу онтології варто розробляти так, щоби скоротити когнітивне навантаження учнів/студентів.

Для цього використовується *праймінг* (англ. priming) — метод, при якому несвідомий вплив одного подразника визначає відповідь на наступний подразник, наприклад: певні слова дають змогу мозку краще налаштуватися на розуміння і засвоєння інформації, ніж інші. При цьому важливо не лише використовувати правильні слова, а й уникати вживання неправильних, які перешкоджають запам'ятовуванню інформації. Це дасть змогу швидше витягувати з пам'яті потрібні дані і терміни, після чого ефективно пов'язувати їх із новою інформацією.

Постійні відволікання здатні спричинити стрес і занепокоєння, що шкодить засвоєнню інформації. А оскільки робоча пам'ять має коротку тривалість (10–15 секунд), слід *позбутися всього зайвого*, що може відвернути увагу.

Простіше пригадати або запам'ятати інформацію, перебуваючи в стані самоналаштування та самоорганізації. Тому доцільно створити такі умови роботи з навчальною онтологією, які б дали змогу *налаштуватися* на сприйняття інформації і *залишатися зібраним*, що сприяє покращенню робочої пам'яті і дає змогу максимально використовувати її можливості за призначенням.

Корисною для запам'ятовування великих інформаційних масивів є когнітивна техніка *групування* (англ. chunking), за допомогою якої окремі фрагменти інформаційного набору розбиваються і потім групуються в єдиний комплекс, який для пам'яті стає одним цілісним об'єктом. Доцільно умовно розділити онтологію на невеликі фрагменти, перехід між якими здійснюватиметься тільки після того, як повністю засвоєний поточний. Це допоможе зафіксувати інформацію в довгостроковій пам'яті, не перевантажуючи робочу.

Розробляючи навчальну онтологію, треба запам'ятати, що різні види інформації сприймаються різними ділянками мозку й обробляються по-різному, тому доцільно подавати інформацію в онтології за допомогою малюнків, таблиць або графіків. Це дасть змогу розподілити матеріал між різними каналами оброблення інформації, і когнітивне навантаження знизиться.

Програмні рішення для реалізації навчальної онтології з урахуванням когнітивної ергономіки

На сьогодні існує чимало середовищ побудови онтологій, створених для представлення знань: OilEd, OntoEdit, WebODE, WebOnto, Protégé, OntoSaurus, Ontolingua, KOAN, SymOntoX, Retrievalware. Результати дослідження [5] демонструють, що більшість дослідників (56%) використовує Protégé, 13% — Apache Jena Java Framework, Neon Toolkit Editor, TopBraid Composer, OntoStudio та OntoMat.

Однак нині лише когнітивна ІТ-платформа «Поліедр» [14], призначена для представлення знань, отриманих у результаті семантико-лінгвістичного аналізу великих обсягів просторово розподіленої неструктурованої інформації (Big Data), їх структуризації, встановлення міжконтекстних зв'язків та візуалізації у вигляді інформаційно-аналітичних WEB-орієнтованих рішень, спроможна повною мірою врахувати

особливості когнітивної ергономіки в процесі розроблення онтології навчального призначення.

КІТ «Поліедр» забезпечує об'єктне, табличне, графове представлення інформації, а також у вигляді онтологічної призми і ГІС-додатка.

Режим об'єктного відображення представляє об'єкти онтології у вигляді ієрархічно впорядкованих списків, актуалізація категорій яких формує наступний рівень (першим елементом рівня буде актуалізована категорія, а іншими елементами — всі її підкатегорії і дочірні об'єкти онтології) (1 на рис. 1).

Усі елементи відображаються у вигляді круглих блоків з назвою і (за наявності) зображенням; якщо навести вказівник миші, блок міняє форму (2 на рис. 1). При наведенні на блок відображаються додаткові кнопки (3 на рис. 1) — «Перегляд картки об'єкта» й «Ієрархічна фільтрація», що запускають відповідні функції для асоційованої з блоком категорії чи об'єкта як параметра.

Режим табличного відображення призначений для відображення списку об'єктів з однаковим набором атрибутів (рис. 2). Уся множина об'єктів з атрибутами відображається на сторінці фіксованого розміру (за замовчуванням по 50 об'єктів), перемикання яких відбувається за допомогою спеціальних керуючих елементів. Для поточної сторінки автоматично формується заголовок таблиці (1 на рис. 2). Кожен рядок

таблиці відображає інформацію про об'єкт: перша комірка містить назву об'єкта (2 на рис. 2), натискання на яку відкриває картку об'єкта, і його зображення (за наявності); інші комірки — значення атрибутів об'єкта (якщо об'єкт має кілька атрибутів з однаковою назвою, то їх значення будуть відображатися в комірці таблиці одне під одним, розділені горизонтальною лінією).

Режим відображення онтографа призначений для одночасного відображення великої кількості об'єктів і зв'язків між ними (рис. 3).

Об'єкти при відображенні використовують свої налаштування — форму (квадрат або коло) і колір. Також об'єкти, що мають непусту множину атрибутів, відображаються з рамкою. Зміна положення об'єкта здійснюється його перетягуванням (Drag&Drop). Доступні функції переміщення робочої області (pan) і збільшення/зменшення робочої області (zoom). Подвійне натискання на об'єкт відкриває його картку.

Режим онтологічної призми призначений для відображення трирівневої структури даних (рис. 4) (аналогічно до об'єктного відображення):

- перший рівень є кореневою категорією онтології;
- другий рівень складають підкатегорії кореневої категорії, що формують грані призми, а імена цих категорій відображаються у верхній частині відповідної грані;



Рис. 1 Режим об'єктного відображення

Шкільна віртуальна світлиця Т. ... 7/157

Пошуковий запит

Місце виконання

- Вільно
- Київ
- о. Косарал
- Оренбург
- Петербург
- Яготин

Опис

Рік виконання

- 1830 - 1849
- XI 1849 — IV 1850

Розмір

Техніка виконання

- гравюра
- папір, акварель
- папір, італійський олівець
- папір, офорт
- папір, сепія
- полотно, олія

Опис	Техніка виконання	Рік виконання	Місце виконання	Розмір
«ЖІНОЧІ ОЛІВКА» [Погруддя жінки] (папір, італ. олівець, 47,7x38) — копія Шевченка з невідомої літографії, виконана 1830 р. у Вільні. На аркуші авторські написи (історичні)	папір, італійський олівець	1830	Вільно	47,7x38
Портрет невідомої [Оренбург]. [XI 1849 — IV 1850?] На звороті тією ж рукою, що й інвентарний номер, олівцем зроблено напис: Шевченко 1814 — 1864. Портрет А. С.	папір, акварель	XI 1849 — IV 1850	Оренбург	26,5x9,5
Портрет Варвари та Василя Релніних	полотно, олія	1844	Яготин	40x51,3
Катерина	полотно, олія	1842	Петербург	93x72,3
Хлопчик розпалює грубку	папір, сепія	1849	о. Косарал	24,7x18,3

Рис. 2. Режим табличного відображення

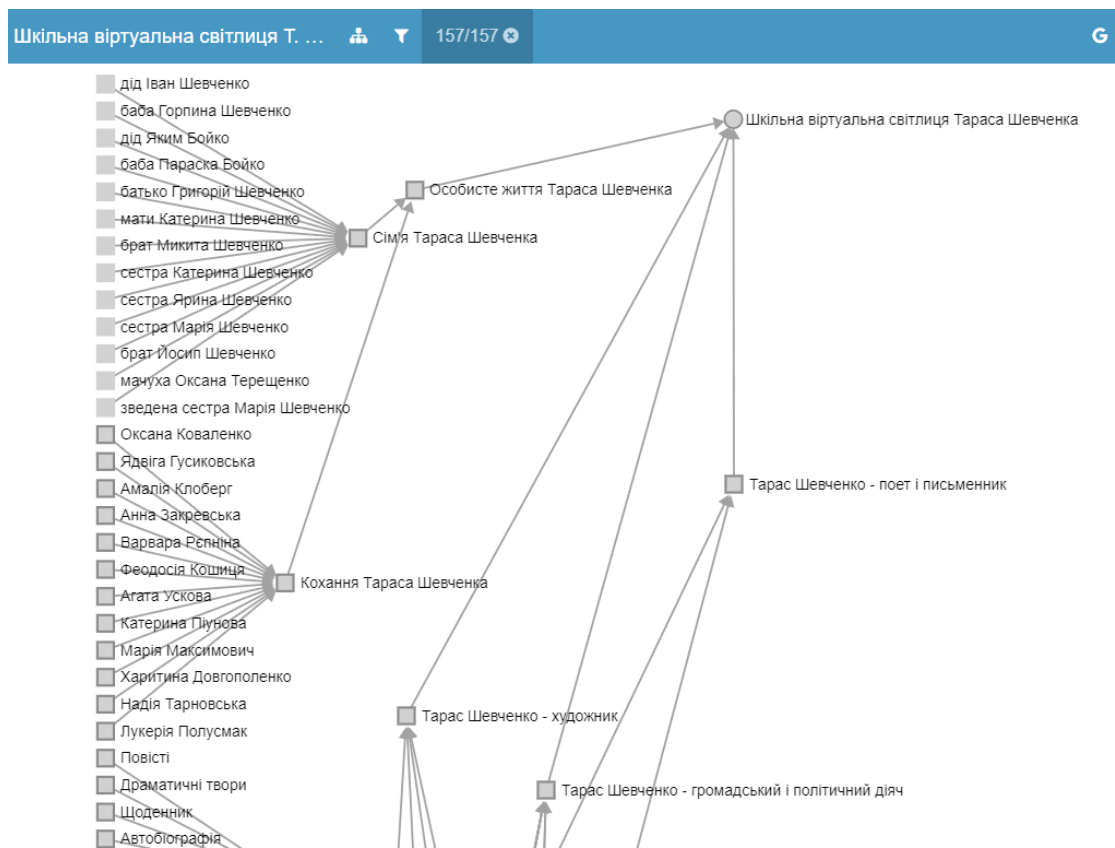


Рис. 3. Режим відображення онтографа

— третій рівень формується підкатегоріями і дочірніми об'єктами категорій другого рівня. Такі об'єкти представляються блоками на відповідних гранях — аналогічно до об'єктного представлення. Максимальна кількість блоків на грані — 25, якщо дочірніх об'єктів у категорії більше, то вони розбиваються на сторінки, а в заголовку грані відображається перемикач сторінок.

Якщо через структуру онтології елементом другого рівня стає об'єкт, а не категорія, то цей об'єкт відображається як грань і як блок на грані. Натискання блоку на грані призми спричиняє перегляд картки відповідного об'єкта.

Режим ГИС-додатка призначений для відображення геопросторової інформації, що міститься в атрибутах об'єктів онтології (рис. 5). Геопросторова інформація може бути представлена у вигляді маркерів (точкові значення) або полігонів (набори точок). Доступні функції переміщення робочої області (pan) і збільшення/зменшення робочої області (zoom). Одинарне натискання на об'єкт відкриває його картку.

Також у цьому режимі перегляду маркери можуть автоматично кластеризуватися, при цьому на їх місці відобразитиметься коло із зазначенням кількості кластеризованих маркерів.

Отже, засоби КІТ «Поліедр» дають змогу:

- застосовувати праймінг у процесі побудови навчальної онтології шляхом семантико-лінгвістичного аналізу якісних, відібраних експертом із предметної галузі академічних текстів, для використання прийнятих світовою освітньою і науковою спільнотою термінів та їх визначень і уникнення вживання таких, що перешкоджають запам'ятовуванню інформації; завдяки цьому з пам'яті учня/студента швидше витягуватимуться потрібні знання, що ефективно пов'язуватимуться з новою інформацією;
- відображати структуру предметної області так, аби відфільтрувати зайву і «сміттєву» інформацію, яка може відвернути увагу, на етапі розроблення онтології для уникнення когнітивного перевантаження;
- інтегрувати й агрегувати інформаційні ресурси і системи в такий спосіб, аби уникнути необхідності шукати потрібну інформацію по фізично і тематично розподілених базах даних, електронних бібліотеках, архівах тощо, а вся необхідна для засвоєння інформація була доступна в єдиному середовищі навчальної онтології;
- застосовувати групування при представленні інформації у вигляді онтологічної призми, яка допомагає структурувати,

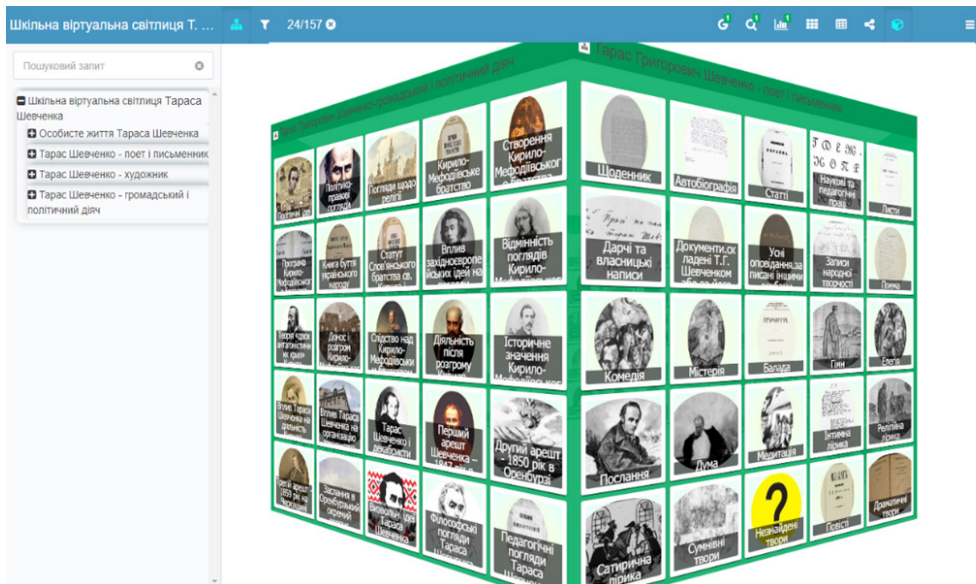


Рис. 4. Режим онтологічної призми

класифікувати й об'єднати окремі фрагменти інформаційного набору в єдиний комплекс, що дає змогу сприймати предметну галузь знань як цілісний об'єкт, не перевантажуючи робочу пам'ять;

- подавати інформацію в навчальній онтології за допомогою малюнків, таблиць, графів і карт, що дає змогу знизити когнітивне навантаження за рахунок розподілу матеріалу між різними каналами оброблення інформації.

Висновки. У роботі представлений огляд типів, підходів та критеріїв оцінки когнітивної ергономіки онтологій навчального призначення з точки зору їх візуального сприйняття. Виявлено, що на сьогодні комп'ютерні онтології стали синонімом інструментарію організації інформації в освітньому процесі, що дає змогу отримати наочне уявлення про вміст інформаційного ресурсу: від книги до бази даних і знань, а застосування онтологій як засобу візуалізації інформації сприяє підготовці фахівців, здатних коректно використовувати й аналізувати інформацію, поєднувати окремі елементи в єдине ціле для формування гармонійного світогляду.

Хоча жодна з наявних на сьогодні моделей оцінки онтологій не дає змоги повною мірою провести їх аналіз з точки зору якості і швидкості сприйняття людиною, за останні роки розроблено низку методів та програмних продуктів, які враховують нашу когнітивну архітектуру і допома-

гають під час навчання зберігати інформацію в робочій пам'яті, доки вона не буде оброблена достатньо, щоб перейти до довгострокової пам'яті. Представлений огляд одного з таких рішень — когнітивної ІТ-платформи «Поліедр», яка спроможна повною мірою врахувати особливості когнітивної ергономіки в процесі розроблення онтології навчального призначення.

Список використаних джерел

1. Piedra N., Chicaiza J., Lopez-Vargas J., Tovar E. Seeking Open Educational Resources to Compose Massive Open Online Courses in Engineering Education. An Approach based on Linked Open Data. *Journal of Universal Computer Science*. 2015. № 21 (5). P. 679–711.
2. Alomari J. Ontology for Academic Program Accreditation Ontology of Accreditation Board of Engineering and Technology (ABET) Process. *International Journal of Advanced Computer Science & Applications*. 2016. № 7 (7). P. 123–127.
3. Muñoz A., Lagos K., Vera-Lucio N., Vergara-Lozano V. Ontological Model of Knowledge Management for Research and Innovation. *Technologies and Innovation: Second International Conference (CITI)*. 2016. P. 51–62.
4. Valaski J., Malucelli A., Reinehr S. Ontologies application in organizational learning: A literature review. *Expert Systems with Applications*. 2012. № 39 (8). P. 7555–7561.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.075>
5. Tapia-Leon M., Rivera A., Chicaiza J., Luján-Mora S. Application of ontologies in higher education:

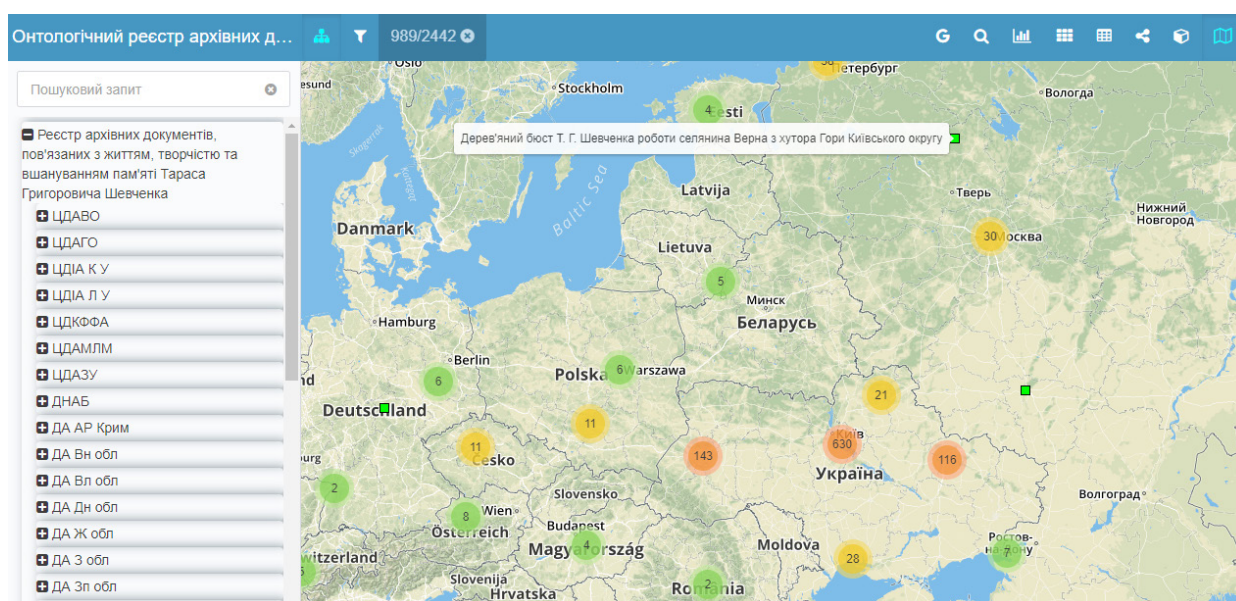


Рис. 5. Режим перегляду ГІС-додатка

- A systematic mapping study. *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. 2018. P. 1344–1353.
DOI: <https://doi.org/10.1109/educon.2018.8363385>
6. Brank J., Grobelnik M., Mladenic D. A survey of ontology evaluation techniques. *Proceedings of the Conference on Data Mining and Data Warehouses (SiKDD)*. 2005.
 7. Gangemi A., Catenacci C., Ciaramita M., Lehmann J. Ontology evaluation and validation An integrated formal model for the quality diagnostic task. 2005.
 8. Völker J., Vrandečić D., Sure-Vetter Y., Hotho A. AEON—An approach to the automatic evaluation of ontologies. *Applied Ontology*. 2008. № 3 (1). P. 41–62.
DOI: <https://doi.org/10.3233/ao-2008-0048>
 9. Zhu X., Fan J. W., Baorto D. M., Weng C., Cimini J. J. A review of auditing methods applied to the content of controlled biomedical terminologies. *J. Biomed. Inform.* 2009. № 42 (3). P. 413–425.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2009.03.003>
 10. Гаврилова Т. А., Горовой В. А., Болотникова Е. С., Голенков В. В. Субъективные метрики оценки онтологий. *Знания-Онтологии-Теории : материалы Всероссийской конф. с межд. участием (ЗОНТ-2009)*. 2009. С. 178–186.
 11. Miller G. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review*. 1956. № 63. P. 81–97.
DOI: <https://doi.org/10.1037/h0043158>
 12. Noy N., McGuinness D. L. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. *Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880*. 2001.
 13. Sweller J. Cognitive Load Theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*. 1994. № 4 (4). P. 295–312.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)
 14. Трансдисциплінарний кластер науково-освітніх ресурсів НЦ «МАНУ». URL: <https://polyhedron.stemua.science/>
 3. Muñoz, A., Lagos, K., Vera-Lucio, N. & Vergara-Lozano, V. (2016). Ontological Model of Knowledge Management for Research and Innovation. *Technologies and Innovation: Second International Conference (CITI)*, 51–62.
DOI: [10.1007/978-3-319-48024-4_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48024-4_5).
 4. Valaski, J., Malucelli, A. & Reinehr, S. (2012). Ontologies application in organizational learning: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 39 (8), 7555–7561.
DOI: [10.1016/j.eswa.2012.01.075](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.075)
 5. Tapia-Leon, M., Rivera, A., Chicaiza, J. & Luján-Mora, S. (2018). Application of ontologies in higher education: A systematic mapping study. *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1344–1353.
DOI: [10.1109/educon.2018.8363385](https://doi.org/10.1109/educon.2018.8363385)
 6. Brank, J., Grobelnik, M. & Mladenic, D. (2005). A survey of ontology evaluation techniques. *Proceedings of the Conference on Data Mining and Data Warehouses (SiKDD 2005)*.
 7. Gangemi, A., Catenacci, C., Ciaramita, M. & Lehmann, J. (2005). Ontology evaluation and validation An integrated formal model for the quality diagnostic task.
 8. Völker, J., Vrandečić, D., Sure-Vetter, Y. & Hotho, A. (2008). AEON—An approach to the automatic evaluation of ontologies. *Applied Ontology*, 3 (1), 41–62.
DOI: [10.3233/ao-2008-0048](https://doi.org/10.3233/ao-2008-0048)
 9. Zhu, X., Fan, J. W., Baorto, D. M., Weng, C. & Cimini, J. J. (2009). A review of auditing methods applied to the content of controlled biomedical terminologies. *J. Biomed. Inform.*, 42 (3), 413–425.
DOI: [10.1016/j.jbi.2009.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jbi.2009.03.003)
 10. Gavrilova, T. A., Gorovoy, V. A., Bolotnikova, E. C., Golenkov, V. V. (2009). Subjective metrics for evaluating ontologies. *Proceedings of the Conference “Znaniya-Ontologii-Teorii” : materialy Vserossiyskoy konf. s mezhd. uchastiem (ZONT 2009)*, 178–186 [in Russian].
 11. Miller, G. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review*, 63, 81–97.
DOI: [10.1037/h0043158](https://doi.org/10.1037/h0043158)
 12. Noy, N. & McGuinness, D. L. (2001). Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. *Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880*.
 13. Sweller, J. (1994). Cognitive Load Theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4 (4), 295–312.
DOI: [10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)
 14. Transdisciplinary Cluster of Scientific and Educational Resources of the National Center “Junior Academy of Sciences of Ukraine”. Retrieved from : <https://polyhedron.stemua.science/> [in Ukrainian].

References

M. A. Popova

COGNITIVE ERGONOMICS OF EDUCATIONAL ONTOLOGY

Abstract. *The article provides a brief analysis of studies on the use of ontologies for developing curricula, creating descriptions of their contents in the form of courses and information resources, improving the mechanisms for recommending academic sources and resources, academic assessment, management of a higher educational institution, integrating academic data and ontology-based repositories, which showed that ontology is a useful means of organizing information in the educational process. Criteria and methods for ontology metric evaluation for compliance with application requirements, increasing the availability of information for assimilation and gaining the possibility of their reuse in order to reduce the time and financial costs of modernizing existing and developing new knowledge base models are considered. A brief description of cognitive ergonomics metrics that affect the perception and ability to remember information presented in ontologies is given. The dependence of the ontology efficiency on its metrics, on the basis of which a list of cognitive-perceptual principles of developing an educational ontology is presented, is determined. The basics of the cognitive load theory and its application in the development of training resources based on ontologies are considered. A description of the cognitive load types that an educational ontology can cause to determine ways to optimize it is given. Practical advice for developers of educational ontology for the most effective presentation of information for its assimilation is given. A list of ontology creating tools, including educational purposes, is provided. The main ways of representing knowledge by means of the cognitive IT platform "Polyhedron" taking into account the features of cognitive ergonomics in the process of developing an educational ontology are described.*

Keywords: *ontology, cognitive load, ontology metric, cognitive ergonomics, educational resources.*

M. A. Попова

КОГНИТИВНАЯ ЭРГОНОМИКА ОНТОЛОГИИ УЧЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. *В статье приведен краткий анализ исследований, посвященных использованию онтологий для разработки учебных программ, создания описаний их содержания в виде курсов и информационных ресурсов, совершенствования механизмов рекомендаций академических источников и ресурсов, академического оценивания, менеджмента высшего учебного заведения, интеграции академических данных и хранилищ на основе онтологий, который показал, что онтология является полезным средством организации информации в образовательном процессе. Рассматриваются критерии, методы и способы метрической оценки онтологий на соответствие требованиям применения, увеличения доступности информации для усвоения и получения возможности повторного их использования с целью снижения временных и финансовых затрат на модернизацию существующих и разработку новых моделей баз знаний. Приведено краткое описание метрик когнитивной эргономики, влияющих на восприятие и способность к запоминанию информации, представленной в онтологиях. Определена зависимость эффективности онтологии от ее метрик, на основе которой представлен перечень когнитивно-перцептивных принципов, которые необходимо учитывать при разработке онтологии учебного назначения. Рассмотрены основы теории когнитивной нагрузки и ее применение при разработке учебных ресурсов на основе онтологий. Приведено описание типов когнитивной нагрузки, которые может вызвать учебная онтология, для определения путей ее оптимизации. Поданы практические советы для разработчиков учебной онтологии с целью наиболее эффективного представления информации для ее усвоения. Приведен перечень средств построения онтологий, в том числе учебного назначения. Описаны основные способы представления знаний средствами когнитивной ИТ-платформы «Полиэдр», учитывающие особенности когнитивной эргономики в процессе разработки онтологии учебного назначения.*

Ключевые слова: *онтология, когнитивная нагрузка, метрика онтологии, когнитивная эргономика, учебные ресурсы.*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРА

Попова Марина Андріївна — канд. техн. наук, завідувачка відділу створення та використання інтелектуальних мережних інструментів, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, pma1701@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0258-1713>

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Popova M. A. — PhD in Engineering, Head of Intelligent Network Tools Department, NC “Junior academy of sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, pma1701@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0258-1713>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Попова М. А. — канд. техн. наук, заведующая отделом создания и использования интеллектуальных сетевых инструментов, НЦ «Малая академия наук Украины», г. Киев, Украина, pma1701@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0258-1713>

Стаття надійшла до редакції / Received 14.04.2020