

УДК 61:621.39:004:004.853

DOI 10.11603/me.2414-5998.2019.2.10360

О. П. Мінцер¹

ORCID 0000-0002-7224-4886

ResearcherID K-4636-2015

Scopus Author ID 35865993800

М. А. Попова²

ORCID 0000-0002-0258-1713

ResearcherID C-8433-2019

¹Національна медична академія післядипломної освіти імені П. Л. Шупика МОЗ України²Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

ОНТОЛОГО-КЕРОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БЕЗПЕРЕРВНОГО ПРОФЕСІЙНОГО РОЗВИТКУ ЛІКАРІВ ТА ПРОВІЗОРІВ

О. P. Mintser¹, M. A. Popova²¹*P. Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education
of the Ministry of Health of Ukraine*²*Institute of Telecommunications and Global Information Space of the
National Academy of Sciences of Ukraine*

ONTOLOGY-DRIVEN INFORMATION SYSTEMS IN ENSURING THE CONTINUING PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF DOCTORS AND PHARMACISTS

Анотація. Стаття присвячена питанню забезпечення якості медичної освіти, підвищення кваліфікації медичних кадрів і безперервного професійного розвитку лікарів та провізорів засобами сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Визначені переваги застосування онтологічного підходу до представлення знань у процесі створення і використання медичних інформаційних систем з метою надання доступу до максимально повного обсягу інформації шляхом інтероперабельної інтеграції та агрегації знання-орієнтованих ресурсів та інформаційних джерел. Наведений короткий аналіз існуючих онтологій медичного призначення (від колекцій вузькоспеціалізованих тематичних онтологій до національних термінологічних систем охорони здоров'я), що виявив низку недоліків та перешкод їх використання в системі сучасної медичної освіти в Україні. Визначена необхідність створення єдиного середовища інтероперабельної взаємодії з існуючими онтологічними рішеннями засобами уніфікованого інтерфейсу користувача для підвищення ефективності безперервного професійного розвитку лікарів та провізорів. Викладені основні аспекти розробки онтолого-керованих інформаційних систем, що можуть бути використані не лише при проектуванні і розробці структури, функціоналу та інтерфейсів медичних інформаційних систем, а й у процесі їх використання для вирішення практичних завдань. Представлений досвід застосування ІТ-ТОДОС, когнітивні програмно-інформаційні засоби якої забезпечують інтерактивну інтероперабельну темпоральну та семантичну синхронізацію інформаційних ресурсів незалежно від формату, стандартів і технологій їх створення, для розробки та використання онтолого-керованих медичних інформаційних систем, наведений її функціонал та переваги використання в процесі забезпечення безперервного професійного розвитку лікарів та провізорів.

Ключові слова: онтологія; медична інформаційна система; безперервний професійний розвиток; інтероперабельність.

Abstract. The article is devoted to the issue of medical education quality assurance, the improvement of the medical staff qualifications and the continuous professional development of doctors and pharmacists using modern information and communication technologies. The advantages of using the ontological approach to knowledge representation in the process of creation and use of medical information systems in order to provide access to the maximum amount of information through the interoperable integration and aggregation of knowledge-oriented resources and information sources are determined. A brief analysis of existing medical ontologies (from collections of highly specialized thematic ontologies to national terminology health systems), which revealed a number of disadvantages and obstacles to their use in the system of modern medical education in Ukraine is presented. The necessity of creation of a unified interoperable environment with existing ontological solutions by means of unified user interface for increasing the efficiency of continuous professional development of doctors and pharmacists is determined. The main aspects of the development of ontology-driven information systems, which can be used for the medical information systems structure, functionality and interfaces design, but also in the process of using

© О. П. Мінцер, М. А. Попова

them to solve practical problems, are outlined. The experience of using IT-TODOS cognitive software and information tools that provide interactive temporal and semantic synchronization of information resources, regardless of the format, standards and technologies of their creation, for the design and use of ontology-driven medical information systems is presented. Its functionality and the advantages of using in the process of ensuring the continuous professional development of doctors and pharmacists are described.

Key words: ontology; medical information system; continuous professional development; interoperability.

Вступ. Метою державної політики в галузі охорони здоров'я, визначеною в Стратегії розвитку медичної освіти в Україні [1], є побудова сучасної системи медичної освіти для забезпечення високого рівня підготовки медичних фахівців, а отже, й підвищення якості, безпеки та ефективності медичних послуг.

Традиційним для сучасної системи медичної освіти є підхід до проведення навчальних занять у закладах вищої освіти. Але необхідність засвоєння нових знань, які постійно поновлюються та доповнюються, уміння бачити взаємозв'язки та виявляти закономірності там, де вони представлені неявно або взагалі не представлені, а також складність синхронізації графіків роботи викладачів та тих, хто навчається, вимагають створення більш гнучкого та ефективного підходу до процесу навчання для запобігання виникненню потенційно критичних помилок внаслідок некоректного підвищення кваліфікації. Слідуючи останнім тенденціям сучасної освіти – навчання впродовж життя, основна увага в процесі медичної освіти, підвищення кваліфікації медичних кадрів чи безперервного професійного розвитку лікарів та провізорів має бути приділена знанням та навичкам роботи з інформаційно-комунікаційними технологіями, що дозволить максимально використовувати потенціал сучасних ІТ-рішень для забезпечення високої якості підготовки медичних фахівців.

Останнім часом широкого поширення набули інформаційні медичні системи, які перетворилися на обов'язковий атрибут модернових навчальних установ та інституцій, що дозволяють представляти та використовувати знання незалежно від місця перебування користувача в зручний для нього час.

Мета статті – висвітлення онтологічного підходу до представлення знань у медичних інформаційних системах за допомогою ІТ-ТОДОС, який, на відміну від існуючих, дозволяє інтерактивно взаємодіяти з мережевими фізично та тематично розподіленими, створеними у різних форматах та за різними стандартами й технологіями, семантично і темпорально синхронізованими інформаційними ресурсами, забезпечуючи трансдисциплінарність їх сприйняття.

Теоретична частина. Задоволення потреб безперервного професійного розвитку медичних фахівців зосереджене, головним чином, на представленні уніфікованої медичної термінології, що характеризується значною кількістю прихованих семантичних зв'язків, але є оптимізованою та адаптованою для сприйняття людиною. Однак медичні інформаційні системи навчального призначення однозначно мають надавати доступ до максимально повного обсягу знань, необхідного для коректної інтерпретації складних медичних понять, представлених синонімічними рядами чи відображеними різними мовами (як природними, так і штучними (алгоритмічними)). Очевидно, що така нетривіальна задача вимагає ретельного аналізу та коректного представлення структури предметної області, що вивчається.

На сьогодні функціонує низка інформаційних систем, здатних хоча б частково таку задачу вирішити. Однак у повсякденну практику медичної освіти вони майже не впроваджені через складність представлення знань (можливо, тому, що вимагають від користувача ґрунтовних знань із програмування, а тому більш орієнтованих на інженерів зі знань) та неузгодженість і несумісність різних систем між собою, адже всі вони у своїй основі мають різні моделі, реалізовані різними програмними та апаратними засобами, не мають уніфікованого інтерфейсу.

Рішенням наведених проблем є використання онтологій для створення медичних інформаційних систем, що здатні допомогти в розробці інтероперабельних знання-орієнтованих ресурсів та забезпечити необхідну інтеграцію відповідних інформаційних джерел.

На сьогодні відомі кілька онлайн-бібліотек, таких, як *Bioportal* [5], *Open Biological and Biomedical Ontologies Foundry* [15] та бібліотека *Protege* [16], що надають вільний доступ до біомедичних онтологій, які можуть бути використані в процесі підготовки медичних кадрів. Ці ресурси можуть бути розділені на ті, що представляють знання з управління медичним обслуговуванням (тобто онтології, що описують організацію медичної діяльності, наприклад *Actor Profile*

Ontology [19]), і ті, що представляють знання з окремих медичних галузей (тобто онтології медичної термінології, наприклад *Gene Ontology* [9], *Foundational Model of Anatomy Ontology* [8], *Ontology for General Medical Science* [14]).

Для опису стану пацієнтів було запропоновано кілька національних та міжнародних онтологічних систем кодування [6]: для захворювань та процедур – Міжнародна класифікація хвороб (*International Classification of Diseases ICD9-CM1, ICD102*) та Міжнародна класифікація первинної допомоги (*International Classification of Primary Care ICP3*); ознак та симптомів – частини ICD9-CM та ICD10; фармакологічного лікування – Анатомічна терапевтична система класифікації (*Anatomical Therapeutic Chemical classification system ATC4*).

Також ефективному використанню медичних онтологій та пов'язаних із ними інформаційних ресурсів сприяють семантичні технології. Наприклад, добре відома термінологічна система охорони здоров'я *Systematized Nomenclature of Medicine-Clinical Terms* (SNOMED-CT) [18] не тільки забезпечує семантичну класифікацію термінів, але й має можливість об'єднувати терміни для опису або уточнення нової медичної інформації.

Хоча онтології опису хвороб, такі, як *Human Disease Ontology* (DOID) [12] і *Infectious Disease Ontology* (IDO) [13], вже існують, вони в основному фокусуються на онтологічному визначенні симптомів, пов'язаних із захворюванням, тобто зосереджені на статичних аспектах. У той час як вже згадана OGMS надає онтологічну репрезентативну модель схильності до захворювання, вона не дає повної картини пов'язаних із захворюванням процесів.

Альтернативним представленням існуючих онтологій хвороб, таких, як DOID і OGMS, є модель опису захворювання, заснована на причинно-наслідкових ланцюжках клінічних порушень *River Flow Model* (RFM) [17], що відображає можливі причини клінічних порушень (аномальних станів) у вигляді ланцюгів і виявляє хвороби, пов'язуючи їх. RFM здатна представити медичним експертам перелік причин захворювання, прогресування і подальші наслідки хвороби, а також надати інформацію про 6302 захворювання і 21 699 аномальних станів з 13 клінічних областей, визначені клініцистами як сховище фактів причинних ланцюжків. З них до 2103 захворювань та 13 910 аномальних станів з шести основних клінічних областей (станом на 11.05.2013) можна отримати доступ за

допомогою дружніх запитів SPARQL через модель RDF із кінцевою точкою SPARQL (доступний API). Крім того, розроблена система перегляду інформації, зв'язаної з ланцюжками захворювань, іншими даними або веб-джерелами (наприклад, ICD 10, MeSH з DBPedia) – *Disease Compass* [7].

Першою онтологією, яка забезпечила основу для побудови семантичної моделі даних для концепції гена, застосовного до широких галузей науки про життя, включаючи генетику, молекулярну біологію та популяційну генетику, є *Genetics Ontology* (GXO) [10]. Так само, як і *Disease Compass*, GXO розроблена на основі онтології вищого рівня YAMATO [11] з метою зв'язати біологічні області, особливо пов'язані з експериментальною генетикою.

Отже, в галузі охорони здоров'я розроблені і широко використовуються медичні онтології, які, тим не менш, значною мірою засновані на застарілій системній термінології і, отже, мають деякі онтологічні проблеми. Так, SNOMED-CT – всеосяжний термінологічний ресурс, що містить більше 311 000 клінічних термінів, проте він не відповідає будь-якій формальній онтології вищого рівня, допускає множинне спадкування, яке викликає безлад у класифікації сутностей, незважаючи на те, що при класифікації мається на увазі, що класи одного рівня взаємно перетинаються, класи і підкласи – перекривають один одного, що призводить до ускладнення таксономічних графів і обслуговування онтології. Крім того, SNOMED-CT не відрізняє розлади (патологічні стани) від захворювань. OGMS, яка хоч і використовує Basic Formal Ontology (BFO) [4] в якості онтології вищого рівня, та DO не мають причинно-наслідкового зв'язку між патологічними станами в одному захворюванні.

Майже всі з наведених онтологій представлені за допомогою мереж фреймів, що є незручним засобом організації виведення великих предметних областей, описаних сотнями/тисячами концептів, та мають специфічний формат даних (хоча й володіють можливістю експорту/імпорту діалектів мови OWL), що вимагає спеціалізованих засобів перегляду та взаємодії з описаними знаннями. До того ж більшість з них опубліковані англійською мовою, що, очевидно, є серйозною перешкодою для їх використання в сучасній системі медичної освіти в Україні.

На сьогодні не існує єдиного середовища інтероперабельної взаємодії зі створеними онтологіями засобами уніфікованого інтерфейсу через специфі-

ку моделей, методів, інформаційних та програмних засобів їх реалізації.

Аналіз сучасних методів та засобів надання доступу до фізично й тематично розподілених інформаційних ресурсів показав, що медичні інформаційні системи, засновані на онтологіях, призначені для функціонування у гетерогенних середовищах і тому базуються на методах штучного інтелекту та парадигмі Semantic Web.

Медична інформаційна система забезпечення безперервного професійного розвитку медичних працівників може мати ієрархічну або мережеву структуру, тобто складатися із більш спеціалізованих середовищ чи підсистем, пов'язаних деякими відношеннями, наприклад «загальне – часткове». Оскільки архітектура такої системи повинна володіти гнучкістю, надавати можливості для розширення функціональності та агрегації розподілених у мережі інформаційних ресурсів, необхідним є створення ергономічного інтерфейсу користувача, що забезпечує Web-доступ до них. Тому основою такого інтерфейсу є тематична онтологія, яка умовно поділяється на дві частини: перша містить опис структури медичної інформаційної системи, друга – ресурси, що описують предметну область з обраної тематики [2].

Онтології можуть бути використані не лише при проектуванні і розробці медичних інформаційних систем, наприклад, для забезпечення можливості повторного використання знань; опису функціоналу медичної інформаційної системи (типів вирішуваних завдань); розробки репозиторіїв та інтерфейсів користувача, а й в якості повноцінного компонента в процесі функціонування системи для забезпечення спільного використання різномірних даних і знань у рамках єдиного інформаційного середовища; процесу вирішення завдань тощо.

Створення онтологій є важливим етапом розробки інформаційних систем забезпечення підготовки та підвищення кваліфікації в процесі безперервного професійного розвитку лікарів та провізорів. Тому доцільним є застосування сучасних когнітивних методів і засобів побудови концептуальних моделей, що забезпечують всебічний аналіз предметної області вивчення та дозволяють представляти онтології в тому чи іншому форматі, зберігати, редагувати, верифікувати, передавати, інтегрувати тощо.

Новітнім інструментарієм в руках інженерів зі знань для створення онтолого-керованих медичних інформаційних систем безперервного професійного розвитку медичних працівників є ІТ-

ТОДОС [3], яка реалізує процедури формалізації трансдисциплінарних знань (вилучення інформації (Information Extraction), інтелектуального аналізу даних (Data Mining), візуалізації семантики процесів агрегації та інтеграції розподілених інформаційних масивів (Semantic Web)) та їх мережевого онтологічного представлення у вигляді інтерактивних документів на основі когнітивних операцій (аналіз, вибір, декомпозиція і агрегування). Когнітивні програмно-інформаційні засоби ІТ-ТОДОС здатні забезпечити інтерактивну інтероперабельну темпоральну та семантичну синхронізацію інформаційних ресурсів незалежно від формату, стандартів і технології їх створення.

Нами онтолого-керована медична інформаційна система застосована для забезпечення безперервного професійного розвитку лікарів та провізорів як мультиресурсний мережевий засіб, в середовищі якого реалізуються функції:

- відбору, накопичення, актуалізації інформації, проведення онтологічного та семантичного аналізу інформації, побудови тематичних глосаріїв, тезаурусів, каталогів тощо на основі виділення категоріальних рівнів мовно-онтологічних описів медичних знань засобами онтологічного моделювання;
- контекстно-орієнтованої тематичної класифікації та каталогізації інформації; онтологічного управління та дослідницького інжинірингу, які забезпечують встановлення ієрархічних структур на всіх рівнях мовно-онтологічного опису медичних знань;
- формування контекстної зв'язності інформаційних масивів на основі виявлення контекстних невизначеностей та їх включення в існуюче або створюване мережеве онтологічне представлення шляхом автоматичної класифікації та доозначення;
- витягу з множини текстових документів, що відображають медичні знання, нових знань, їх системно-онтологічної структуризації й формально-логічне подання у вигляді інтерактивних документів;
- агрегації та інтеграції в єдине мережецентричне онтолого-кероване середовище фізично та тематично розподілених гетерогенних інформаційних масивів різних форматів, створених за різними стандартами та технологіями, що описують сучасні медичні знання;
- забезпечення інтероперабельності інформації не лише на структурному та синтаксичному рівнях, а й на семантико-лінгвістичному, що забезпечує максимально повний доступ до інформації з конкретної галузі досліджень;

– усунення змістових конфліктів між інформаційними одиницями та дублювання інформації;

– доступу до сучасних медичних знань географічно віддаленим та маломобільним користувачам;

– підключення через інтерфейси інтероперабельної взаємодії користувачів до інших інформаційних систем з метою розширення їх можливостей на основі використання технології обміну даними з іншими системами;

– формування онтологічних капсул знань, які включають мережеве онтологічне представлення конкретної галузі медицини, семантично пов'язані мережеві інформаційні ресурси та підключені індекси додаткових інформаційних джерел за потребою, а також індекси контекстної зв'язності з тематично спорідненою науковою інформацією.

Завдяки інтероперабельності й інтегративності знання-орієнтованих інформаційних ресурсів та систем, що створено у різних форматах та за різними стандартами й технологіями, але відібрані за рівнем якості та корисності за змістом, в середо-

вищі онтолого-керованої медичної інформаційної системи, реалізованої засобами ІТ-ТОДОС, здійснюється семантична та темпоральна синхронізація з навчальними програмами та освітніми й методичними матеріалами. До того ж на основі засобів Semantic web інтерфейс взаємодії з мережевими розподіленими інформаційними ресурсами та інтерактивними системами знань адаптується під тематичний профіль діяльності окремого користувача та є інтуїтивно зрозумілим та наочним (рис. 1).

Інструментарій ІТ-ТОДОС дозволяє працювати з кількісними та якісними значеннями атрибутів концептів онтології, що забезпечує функції підтримки багатокритеріального аналізу різних об'єктів медицини, що вивчаються. Так, наприклад, з Національного переліку основних лікарських засобів і виробів медичного призначення можна відфільтрувати нейролептики виробництва України, що відпускаються за рецептом, на основі вибору відповідних якісних значень атрибутів концептів онтології (рис. 2).

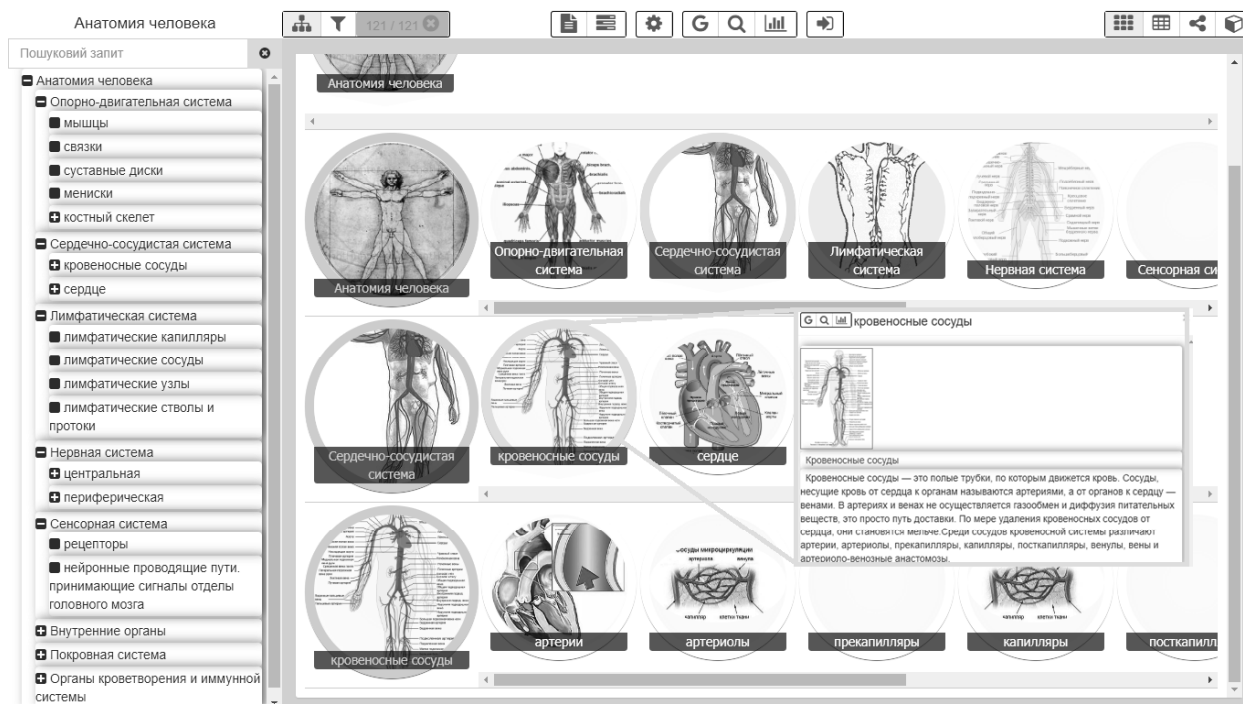


Рис. 1. Інтерфейс онтології «Анатомія людини».

Висновки та перспективи подальших досліджень. 1. Більшість розроблених медичних онтологій представлені за допомогою мереж фреймів та мають специфічний формат даних, що вимагає спеціалізованих засобів перегляду та взаємодії з описаними знаннями.

2. Не існує єдиного середовища інтероперабельної взаємодії зі знаннями, описаними в створених

онтологіях, засобами уніфікованого інтерфейсу через специфіку моделей, методів, інформаційних та програмних засобів їх реалізації.

3. Застосування тематичних комп'ютерних онтологій в основі медичних інформаційних систем забезпечує реалізацію таких процесів, як структурування та систематизація інформації, інтеграція розподілених інформаційних моделей та систем на

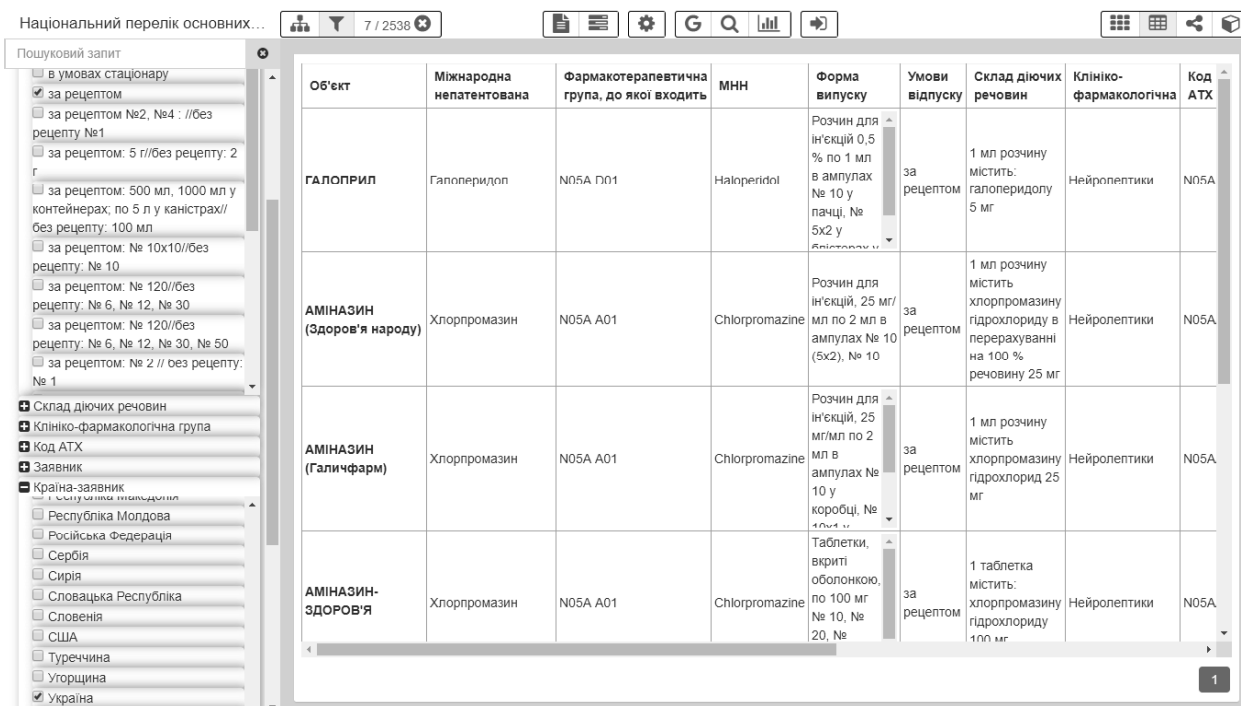


Рис. 2. Інтерфейс відбору за визначеними значеннями атрибутів концептів онтології «Національний перелік основних лікарських засобів і виробів медичного призначення».

основі використання семантичних властивостей, агрегація різноформатних інформаційних ресурсів, візуалізація необхідної інформації та перетворення процесу пошуку знань на сучасну технологію доступу до обраної області досліджень.

4. Засоби ІТ-ТОДОС здатні забезпечити інтероперабельність та інтегративність медичних онтологій, створених у різних форматах та за різними стандартами й технологіями, їх семантичну та

темпоральну синхронізацію, а також надати агрегований доступ до них через уніфікований інтерфейс користувача.

5. Перспективним завданням досліджень є формування трансдисциплінарних інформаційних середовищ забезпечення семантичної синхронізації даних системно-біологічних і системно-медичних онтологічних моделей знань різного рівня.

Список літератури

1. Про схвалення Стратегії розвитку медичної освіти в Україні : Постанова Кабінету Міністрів України від 27 лютого 2019 р. № 95-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/95-2019-p>.
2. Тематичні онтології – функціональне ядро медичних інформаційних систем / М. А. Попова, Н. О. Носко, О. О. Суханова [та ін.] // Інновації у вищій медичній та фармацевтичній освіті України (з дистанційним під'єднанням ВМ(Ф)НЗ України за допомогою відеоконференц-зв'язку) : матеріали XVI Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю (Тернопіль, 16–17 трав. 2019 р.) / Терноп. нац. мед. ун-т імені І. Я. Горбачевського. – Тернопіль : ТНМУ, 2019. – С. 126–127.
3. ТОДОС – ІТ-платформа формування трансдисциплінарних інформаційних середовищ / В. Ю. Величко, М. А. Попова, В. В. Приходнюк, О. Є. Стрижак // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 1. – С. 10–19. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2017_1_4.

4. Basic Formal Ontology [Electronic resource]. – Access mode : <https://basic-formal-ontology.org/>.
5. Bioportal [Electronic resource]. – Access mode : <http://bioportal.bioontology.org>.
6. Borgo S. A First-order formalization of event, object, process and role in YAMATO / S. Borgo, R. Mizoguchi // Formal Ontology in Information Systems / S. Borgo, R. Mizoguchi. – 2014. – (Frontiers in Artificial Intelligence and Applications). – P. 79–92.
7. Disease compass – a navigation system for disease knowledge based on ontology and linked data techniques [Electronic resource] / K. Kozaki, Y. Yamagata, R. Mizoguchi [et al.] // J. Biomed. Semantics. – 2017. – Access mode : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5477351/>.
8. Foundational Model of Anatomy Ontology [Electronic resource]. – Access mode : <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/FMA>.
9. Gene Ontology [Electronic resource]. – Access mode : <http://geneontology.org/>.

10. Genetics Ontology [Electronic resource]. – Access mode : https://ja.brc.riken.jp/lab/bpmp/ontology/ontology_gxo.html.
11. Hammond E. W. Standards in Biomedical Informatics / E. W. Hammond, J. J. Cimino // *Medical Informatics: Computer Applications in health-care and Biomedicine*. – New York : Springer, 2000. – P. 212–256.
12. Human Disease Ontology [Electronic resource]. – Access mode : <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/DOID>.
13. Infectious Disease Ontology [Electronic resource]. – Access mode : <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/IDO>.
14. Ontology for General Medical Science [Electronic resource]. – Access mode : <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/OGMS>.
15. Open Biological and Biomedical Ontologies Foundry [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.obofoundry.org>.
16. Protege [Electronic resource]. – Access mode : <http://protegewiki.stanford.edu>.
17. River Flow Model [Electronic resource]. – Access mode : <http://rfm.hozo.jp>.
18. Systematized Nomenclature of Medicine-Clinical Terms [Electronic resource]. – Access mode : http://www.nlm.nih.gov/research/umls/Snomed/snomed_main.html.
19. Using ontologies for structuring organizational knowledge in home care assistance / A. Valls, K. Gibert, D. Sánchez, M. Batet // *I. J. Medical Informatics*. – 2010. – No. 79. – P. 370–387.

References

1. Pro shkhvalennia Stratehii rozvytku medychnoi osvity v Ukraini: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27 liutoho 2019 r. № 95-r [On Approval of the Strategy for the Development of Medical Education in Ukraine: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated February 27, 2019]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/95-2019-p>.
2. Popova, M.A., Nosko, N.O., & Sukhanova, O.O. (2019). Tematychni ontolohii – funktsionalne yadro medychnykh informatsiinykh system [Thematic ontologies – the functional core of medical information systems]. *Innovatsii u vyshchii medychnii ta farmatsevychnii osviti Ukrainy – Innovations in Higher Medical and Pharmaceutical Education of Ukraine*.
3. Velychko, V.Yu., Popova, M.A., & Prykhodniuk, V.V. (2017). TODOS – IT-platforma formuvannia transdyscyplinarnykh informatsiinykh seredovyshch [TODOS – IT-platform for the formation of Transdisciplinary Information Environments]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika – Systems of Arms and Military Equipment, 1*, 10-19 [in Ukrainian].
4. Basic Formal Ontology Electronic resource. Retrieved from: <https://basic-formal-ontology.org/>.
5. Bioportal Electronic resource. Retrieved from: <http://bioportal.bioontology.org>.
6. Borgo, S. A., Mizoguchi, R. (2014). First-order Formalization of event, object, process and role in YAMATO. *Formal Ontology in Information Systems Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. 79-92.
7. Kozaki, K., Yamagata, Y., Mizoguchi, R. (2017). Disease Compass – a navigation system for disease knowledge based on ontology and linked data techniques. *J. Biomed. Semantics*. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5477351/>.
8. Foundational Model of Anatomy Ontology Electronic resource. Retrieved from: <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/FMA>.
9. Gene Ontology Electronic resource. Retrieved from: <http://geneontology.org/>.
10. Genetics Ontology Electronic resource. Retrieved from: https://ja.brc.riken.jp/lab/bpmp/ontology/ontology_gxo.html.
11. Hammond, E. W., Cimino, J. J. (2000). Standards in Biomedical Informatics. *Medical Informatics: Computer Applications in health-care and Biomedicine*, 212-256.
12. Human Disease Ontology Electronic resource. Retrieved from: <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/DOID>.
13. Infectious Disease Ontology Electronic resource. Retrieved from: <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/IDO>.
14. Ontology for General Medical Science Electronic resource. Retrieved from: <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/OGMS>.
15. Open Biological and Biomedical Ontologies Foundry Electronic resource. Retrieved from: <http://www.obofoundry.org>.
16. Protege Electronic resource. Retrieved from: <http://protegewiki.stanford.edu>.
17. River Flow Model Electronic resource. Retrieved from: <http://rfm.hozo.jp>.
18. Systematized Nomenclature of Medicine-Clinical Terms Electronic resource. Retrieved from: http://www.nlm.nih.gov/research/umls/Snomed/snomed_main.html.
19. Valls, A., Gibert, K., Sánchez, D. (2010). Using ontologies for structuring organizational knowledge in Home Care assistance. *I. J. Medical Informatics*, 79, 370-387.

Отримано 28.03.19
Рекомендовано 03.04.19

Електронна адреса для листування: k-minf05@nmapo.edu.ua